プロセスガスの排気と環境管理* —省エネ・プロセスガスのリサイクル—

鵜 飼 勝 三*1

(受理2001年1月11日, 掲載決定2001年5月12日)

Evacuation of Process Gases and Environmental Control —Saving of Electric Power & Process Gases Recycling—

Katsumi UKAI*1

Vacuum Component Div., Anelva Corporation, Fuchu-shi, Tokyo 180-8508

(Received January 11, 2001, Accepted May 12, 2001)

1. 半導体製造プロセスと真空技術の関わり

半導体デバイスの製造プロセスにおける真空ポンプはデバイスの進化と伴に変化してきた。特に、プロセス中の不純物ガスによる汚染が電極・配線の薄膜特性やコンタクトホールやスルーホールの接合特性に影響を与えることから不純物ガスの逆拡散の無い真空ポンプや不純物ガスを積極的に排気する真空ポンプが開発されてきた。

例えば、電極用のアルミニウム金属薄膜を形成するプロセスでの成膜特性が真空中の残留ガス特に水の分圧に依存することから、水に対する排気速度の大きいクライオポンプが開発された。また、接合部の抵抗値に影響を及ぼすハイドロカーボンの逆拡散を回避するためにオイルを使用しないターボ分子ポンプやドライポンプも開発され使用されている。半導体製造プロセスにおける真空環境レベルは、図1に示すように1Gbit世代のデバイス製造用のスパッタ装置で、到達圧力が 10^{-8} Pa台、スパッタ中の H_2O 不純物濃度がppbオーダー以下の超清浄プロセスが要求されている¹⁾。

また、ドライエッチングやプラズマCVDのような化学反応性プロセスでは、プロセスガスや副生成ガスによ

図1 半導体デバイスと製造プロセス環境の推移：半導体デバイスの各世代におけるスパッタリング装置に要求される到達圧力、プロセスガス純度とプロセス中の水分濃度の推移を示す¹⁾。

る真空ポンプオイルの変性が排気特性の劣化を引き起こし、プロセスガス組成比に影響を及ぼしプロセスの再現性に支障をきたすことから、プロセスガス流路系に油を使用しないドライな真空ポンプが開発されてきた。更に、半導体デバイスの高密度化に伴う微細化は、成膜・加工プロセスの多様化を伴い、このためこれらプロセス装置のマルチチャンバー化を加速した。この結果、プロセスガスの排気に使用されるポンプ台数は増大した。

近年、地球温暖化対策から環境保全問題がクローズアップされ半導体製造装置における省エネ・省資源対策が

* 平成12年3月応用物理学会シンポジウムで講演

*1 アネルバ株式会社 真空コンポーネント事業部 (〒180-8508 東京都府中市四谷 5-8-1)

表1 半導体プロセスにおける真空ポンプの利用状況

機能分類	機構分類	ポンプ名	半 導 体 プ ロ セ ス						
			イオン 注入	エッチ ャー	アッ シャー	スパッタ	CVD	MBE	
真 空 ポ ン プ	排出式 ポンプ	容積移送式 ポンプ	油回転ポンプ ルーツポンプ	○ ○	 ○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
		運動量輸送式 ポンプ	ターボ分子ポンプ モレキュラドラッグポンプ	○ ○	○ ○	 ○	○ ○	○ ○	○ ○
		液体作動式 ポンプ	油拡散ポンプ	○					
		ドライポンプ	ルーツ式ドライポンプ クロー式ドライポンプ スクロール式ドライポンプ スクリュエ式ドライポンプ	○ ○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	
	溜込み ポンプ	低温吸着式 ポンプ	クライオポンプ	○			○		○
		ゲッターリング式 ポンプ	スパッタイオンポンプ サブリメーションポンプ						○ ○

推進されている。とりわけ、マルチチャンバーのプロセス装置では、真空ポンプの消費電力が装置の消費電力の概ね30～40%になることから消費電力の削減（省エネ対策）が推進されている。また、シリコン酸化膜や窒化膜ドライエッチングのプロセスガスやPE-CVDのクリーニングに用いられるPFCガスの回収や、MOCVDプロセスで使用される液体ソースの再利用化が大きな課題となってきた。

2. プロセス技術と真空ポンプの関わり

半導体製造プロセスに真空技術が本格的に利用され始めたのは、1960年代の金属薄膜の形成に真空蒸着法が採用されてからである。1970年代に入るとレジスト除去やエッチング工程にプラズマエッチング法が導入された。更に不純物の拡散工程にイオン注入法が、シリコン酸化膜や窒化膜形成工程に減圧CVDやプラズマCVD法が急速に波及した。

表1に半導体プロセスにおける真空ポンプの利用状況を示す²⁾。スパッタリング装置とイオン注入装置用には溜め込み式のクライオポンプが使用されているが、その他のプロセスでは排出式の回転式ターボ分子ポンプやドライポンプが使用されている。図2に半導体製造装置の動作(プロセス)圧力とポンプの排気速度の関係を示す。これらプロセス装置に要求される真空度、排気速度はデバイスの高集積化と大口径化に連れて高真空、大排気容

図2 半導体プロセス装置のポンプ排気速度と動作領域：

半導体製造前工程のイオン注入、エッチング、アッシング、スパッタリング、CVD及びMBEの各プロセスで使用されている真空装置の到達圧力とプロセス圧力とポンプの排気量の関係を示す。

量の方向に進みつつある。

半導体製造工程における真空装置は一旦停止すると、その後の真空立ち上げに要する時間が他の装置に比べ長いことから、高集積対応装置になる程装置の稼働率の向上が求められてくる。とりわけ、スパッタ装置におけるクライオポンプの再生時間の短縮や、ドライエッチングやCVD装置における真空ポンプのメンテナンスフリー化が求められている。

これまで開発されてきたドライポンプは、ルーツ型、

クロー型といったルーツポンプの流れを受けていることから、重量・大きさ・騒音・コストの面で油回転ポンプの代替となるまでには至っていない。近年、小型化・低価格化という点で、スクロール型、ピストン型のポンプが粗引き用ポンプとして開発されているが、摺動面の摩耗によるパーティクルの発生防止が今後の課題である。以下に図3の個別プロセスで使用されているポンプ系の使用状況を見ていく。

2.1 イオン注入装置

イオン注入装置は、 10^{-2} ～ 10^{-3} Pa の高真空領域でアルシン・フォスフィンといった水素化合物のドーパントガスを用いることから、排出型のポンプが主として用いられてきた。初期の段階では油拡散ポンプや油回転ポンプとが用いられてきたが、ハイドロカーボンによる汚染を低減するため、ターボ分子ポンプやクライオポンプが搭載され始めた。取り分け、後述するドライエッチング装置やCVD装置と異なり上述した有害なプロセスガスを排気するにも関わらず溜め込み式のクライオポンプが使用されている。

プロセスチャンパーでは、イオンビームがウェーハに照射された時に発生する水素ガスを排気するために、他のポンプより大きな排気速度を有しているクライオポンプが用いられる。しかし、イオン化室やビーム導入部の排気にはターボ分子ポンプが用いられる。

2.2 化学成膜加工装置

減圧CVD装置、プラズマCVD装置、ドライエッチング装置のプロセス圧力は 10^0 ～ 10^{-1} Paの低・中真空領域と広く、かつ反応性ガスを多量に排気することから、油回転ポンプやドライポンプ（必要に応じてルーツポンプやターボ分子ポンプと組み合わせられる）といった排出型の回転ポンプが使用される。

特に、ドライポンプはその構造上、油回転ポンプのように排気される気体が潤滑油に接触する機会がほとんど無いことから、ハイドロカーボンを排除したクリーンな真空を得る粗引きポンプとして広く使用されている。

これらプロセス装置の排気系は単なるポンプのみで構成されるのではなくフィルターやトラップが必要に応じて補助ポンプ（ドライポンプ等）の前後に用いられている。この場合は排気速度の向上よりは補助ポンプへの反応性生物による負荷軽減を行いポンプのメンテナンスサイクルの延長が主な目的である。

2.3 物理的成膜装置

スパッタ装置では、 10^0 ～ 10^{-2} Paの中真空領域でアルゴンプラズマを用いて配線や電極等の金属薄膜の形成を行う。このため、プロセス中の水の分圧を低減し、かつ 10^{-7} Paの超高真空領域の真空立ち上げ時間を短縮する

図3 プロセスにおける排気系の使用状況：
イオン注入，エッチング，CVDとスパッタリング等の各プロセス装置で使用する真空排気系の進化の状況を示す。

ため、水に対する排気速度の大きいクライオポンプが搭載されている。

しかし、クライオポンプは溜め込み式ポンプであるので吸蔵した気体を再度放出させるための再生が必要である。この再生のための時間を再生時間と呼び、その短縮を図るためにハード・ソフト両面からの取り組みがなされている。ハード面ではクライオポンプ内にヒーターを内蔵し、再生時にクライオパネルを昇温し、クライオパネルに凝縮・吸着した気体を強制的に放出させる方法である。

再生方法には、①150～200 Kまで昇温させ、アルゴンガス等のプロセスガスを優先的に再生する部分再生と②室温まで昇温させ水を含むあらゆる気体の再生を行う完全再生がある。当然のことながら、完全再生と比較して部分再生の方が、再生時間もその後のクールダウン時間（起動時間とも呼ぶ）も短くなる。しかしながら、クライオポンプの特徴である水に対する排気速度を考慮すると、水の再生を無視することはできない。このため、常温迄昇温させる完全再生は今後も必要であり、その短縮がキーポイントになることは前述した通りである。

3. プロセスニーズと真空の質

真空装置における真空立ち上げ時間の短縮は真空ポンプの排気特性に依存するが、一般的には大きいポンプを用いることが望ましい。しかし、装置とのバランスや用力の省力化が必要である。このため、真空チャンパー内のガス放出をいかに低減するかということも重要な要求事項になる。

真空立ち上げの短縮については、①到達圧力重視か②圧力降下特性重視かによって改善のアプローチが異なる。主として、①項に関しては水素の排気速度を改善

し、②項に関しては水に対する排気速度の改善が図られている。以下に具体的方法について考察していく。

3.1 水素に関する排気速度の改善

ステンレス製真空チャンバーにおける超高真空領域では、水素ガスの残留ガス成分比率がそれまでの水の残留ガス成分より大きくなるで、到達圧力を改善するには水素に対する排気速度を重視した排気系が要求される。排気系に使用される真空ポンプの種類によって、対応方法が異なる。

1) ターボ分子ポンプ

ターボ分子ポンプ (turbo-molecular pump) は、図4に示すように高速に回転する翼と静止した翼を交互に配置し、動翼表面に入射した気体分子を同表面から再放出させる際、温度に対応した分子速度にさらに表面の運動方向の速度成分を加え静止翼表面へ移送する。このプロセスを繰り返し行うことによって真空排気を実現する。この場合、表面の運動速度が分子速度と同程度になると、この速度合成の効果は顕著に表れ、静止系から見れば気体分子は同一方向に運動しているように見える。

図4に示すようなタービン翼を高速回転させることで、吸気側①から排気側②への気体分子の通過確率 M_{12} と排気側②から吸気側①への通過確率 M_{21} 間に差を作り、その効果により排気を行う。動翼は高速回転しているので、多くの分子は翼端に衝突し、再放出の際に、下流方向に向かう量が多くなる。通常は、図4に示すように、固定翼との組み合わせで、多段にして使用される。

このタービン翼単段の吸気側①から排気側②に流れる

図4 ターボ分子ポンプのタービン翼の概略図：ターボ分子ポンプの動翼の断面図におけるタービンブレードの形状と動翼（ロータ）及び静止翼（ステータ）の関係を示す。

正味の排気量は、

$$n_1 H = n_1 M_{12} - n_2 M_{21} \quad (1)$$

で表される。ここで、 H は、正味の排気量の入射流量に対する比でホー係数と呼ばれる。 n_1, n_2 は、それぞれ吸気側及び排気側の翼列に入射する単位時間当りの分子数である。比 n_1/n_2 が圧力比 P_1/P_2 と等しいことを考慮に入れて、(1)式を書き直すと、

$$H = M_{12} - M_{21} P_2/P_1 \quad (2)$$

または、

$$K = P_2/P_1 = (M_{12}/M_{21}) - (H/M_{21}) \quad (3)$$

となる。 K は、圧縮比と呼ばれるものであり、ホー係

図5 磁気軸受を使用したターボ分子ポンプの概略図：市販されている磁気軸受型ターボ分子ポンプの断面図を示す。

図6 600 l/s クラスと1000 l/s クラスのターボ分子ポンプの排気速度と圧縮比：
600 l/s クラスと1000 l/s クラスのターボ分子ポンプの窒素、酸素及び水素排気速度と圧縮比を示す。

数（すなわち、排気速度）と共にターボ分子ポンプの性能を表すのに重要なファクターである。

実際のターボ分子ポンプを評価する場合、この単翼の計算結果を使って、重ね合わせで行うのが一般的である。特に n 段の翼列全体の最大圧縮比 Kn は以下のように近似される。

$$Kn = K^n \quad (4)$$

図5に市販されている磁気軸受型ターボ分子ポンプの概略図を示す。さらに、図6はその排気速度と圧縮比の関係を示す。現在市販されている同ポンプの排気速度は、約50 l/s～3000 l/s が中心である。

ターボ分子ポンプは、重い気体分子ほど圧縮比は大きく（たとえば、分子量28の窒素でも 10^9 倍以上）、軽い気体分子に対し圧縮比が小さい（たとえば、水素に対して 10^5 以下）。このため、水素に対する排気速度を改善するため、①実質上の翼列の段数を増や方法として2台のターボ分子ポンプをカスケード型配置し使用することで圧縮比を高めて到達圧力を改善する方法や、②動作時の翼列の発熱による水素ガスの翼表面から再放出する際の分子速度成分の増大による逆拡散による排気速度の低下を改善するため、固定翼の冷却効率を改善し水素ガスの排気速度を高める方法等が実施されている。

2) クライオポンプ

クライオポンプ（cryopump）は、低温に冷却した面に、気体分子を凝縮、吸着させて排気を行う。図7に凝縮排気の模式図を示す。

単位面積当たりに入射する分子数は、 $(2\pi mkT)^{-1/2}P$ で表すことが出来る。ここで、 k はボルツマン定数、 m

図7 低温面におけるクライオコンデンセーションの原理：

クライオポンプの排気メカニズムである低温面における凝縮排気を模式的に示す。

は分子量、また、 T, P は気体の温度、圧力を示す。この入射分子のうち、温度 T_s の低温面に凝縮する量は、その凝縮確率を C_g とすると、 $C_g(2\pi mkT)^{-1/2}P$ となる。

一方、この低温面から蒸発する量は、そこでの凝縮確率 C_s 、平衡蒸気圧 P_s とすると、 $C_s(2\pi mkT)^{-1/2}P_s$ となる。この差が凝縮していく総量 I となる。

$$I = C_g(2\pi mkT)^{-1/2}P - C_s(2\pi mkT_s)^{-1/2}P_s \quad (5)$$

上式の両辺に kT を乗じて体積流量とし、平均分子速度 $\bar{v} (= \sqrt{8kT/\pi m})$ を使って表すと、単位面積当たりの凝縮流量 Q は下記ようになる。

$$Q = \frac{\bar{v}}{4} \cdot C_g \left(1 - \frac{C_s}{C_g} \sqrt{\frac{T}{T_s} \cdot \frac{P_s}{P}} \right) \cdot P \quad (6)$$

したがって、面積 A の低温表面での排気速度 $S (= Q/P)$ は、

$$S = \frac{\bar{v}}{4} \cdot A \cdot C_g \left(1 - \frac{C_s}{C_g} \sqrt{\frac{T}{T_s} \cdot \frac{P_s}{P}} \right) \quad (7)$$

図8 各種気体の平衡蒸気圧曲線：
クライオポンプの排気速度とガス吸蔵量に関連する各種気体の温度 (K) と平衡蒸気圧 (Pa) の関係を示す。

となる。なお、一般的に低温では $C_g = C_s$ と見てよい。

したがって、温度を十分下げれば P_s は非常に低くなり (7) 式のかっこ内の第2項は無視できるようになる。また C_g, C_s も1に近づくので、この排気速度はほとんど理想排気速度 ($S = \bar{v}/4 \cdot A$) に近くなる。

各種気体の平衡蒸気圧を図8に示す³⁾。3 K以下の温度のクライオ面を利用すれば、He以外の全ての気体を超高真空の圧力まで凝縮排気することができる。

通常の真空装置には、図9に示すようなGM型ヘリウム冷凍機を用いたクライオポンプが使用されている。第1ステージにはシールド、ルーバが取り付けられ、約80 Kまで冷却される。ここでは、主として水分子が凝縮排気される。第2ステージは約15 Kまで冷却され、それに接続された凝縮パネルで窒素、酸素、アルゴンなどが凝縮する。ヘリウム、水素、ネオンは、15 Kではまだ蒸気圧が高いので吸着パネルに装着された吸着剤に吸着排気される。したがって、水素に対する排気速度の改善には活性炭の表面拡大と第2ステージの更なる低温化が必要となる。更に、このポンプは通常の運転では 10^{-6} Pa 程度の到達圧力しか得られないので、超高真空領域で排気能力を維持するためには、ポンプの脱ガス処理や構成部品の材料見直し等が必要である。

一方、クライオポンプの超高真空到達の実績として、クライオポンプ容器をアルミニウム合金 (A5052) 製とし、内面をアルゴン酸素雰囲気中で加熱処理を行い、壁面からのガス放出を抑制し、更に真空シールドは微小

図9 GM型冷凍機付クライオポンプの概略図：
第1ステージにルーバと放射シールドが、第2ステージに吸着パネルと凝縮パネルが取り付けられた2段階GM冷凍機を有するクライオポンプの構造を示す。

リークや軽質量の気体の透過を阻止するため、すべてメタルシールとすることで、110～150°Cの2.3時間と14.2時間の2回のベーキングを通して、90時間後に 3×10^{-11} Paの極高真空を得ている⁴⁾。

3.2 水に関する排気速度の改善

真空チャンバーの排気の初期段階での主たる残留ガス成分は水である。この場合クライオポンプを使用する真

図10 クライオトラップの圧力低下時間の短縮効果：
200 l程度の真空チャンバーを有するバッチ式スパッタリング装置（主排気ポンプは3700 l/sの油拡散ポンプ）に80 K迄冷却できるクライオパネル（水に対する実効速度で2倍になるように設計されたパネルを有する）を使用し、 10^{-5} Paまで排気したときの所要時間を相対比で示す。

空装置では前節で述べたように水に対して大きな排気速度を有しているが、ターボ分子ポンプ等を使用する真空装置では水の排気速度は酸素や窒素の排気速度と大きな相違はない。

図8に示すように水の平衡蒸気圧は120 K以下では 10^{-11} Paと十分低いので、真空チャンバー内に100 K程度に制御されたクライオパネルを設置すれば水に対する排気速度を改善することができる。

図10は200 l程度の真空チャンバーを有するバッチ式スパッタリング装置（主排気ポンプは3700 l/sの油拡散ポンプ）に80 K迄冷却できるクライオパネル（水に対する実効速度で2倍になるように設計されたパネル）を使用し、 10^{-5} Paまで排気したときの所要時間を比較したものである。

この結果から、 10^{-5} Pa台への真空立ち上げ時間の短縮を図る上で必要となるクライオパネルは、水の排気速度に対して、概ね10 l/s/cm²を基準として設計することができる。

4. 半導体製造工場における環境負荷管理

今日、半導体製造プロセスにおいて真空環境の利用は不可欠になってきた。更に半導体デバイスの高密度・高集積化に伴う微細化は、成膜・加工プロセスの多様化を伴い、プロセス装置のマルチチャンバー化を伴った。この結果、プロセス排気中使用されるポンプ台数は増大してきた。

一方、半導体製造工場の運営面では、近年地球温暖化

図11 半導体用スパッタリング装置における消費電力の低減例（50 Hz）：
1 台の圧縮機で3 台の8 インチクライオポンプ運転に対して、新たに開発したクライオポンプでは従来の圧縮機で同ポンプを4 台まで運転することによって、約27%の省エネを達成し実勢例を示す⁹⁾。

対策から環境保全問題が顕在化し、半導体製造装置における省エネ・省資源対策が推進されてきた。とりわけ、1) スパッタリング装置やイオン注入装置の真空ポンプの消費電力削減（省エネ対策）と2) CVD やドライエッチングにおけるプロセスガスの消費量削減（省資源対策）が推進されている。

4.1 真空ポンプの省エネ対策

プロセス装置に使用される真空ポンプの中での消費電力の大きさは（単体動作時）、基本的に真空ポンプの排気速度が大きいほど消費電力は大きくなる。このため、使用する真空ポンプはできるだけ小さい排気速度のポンプを用いることが望ましい。

真空ポンプの消費電力の大きさは、ドライポンプ>クライオポンプ>ターボ分子ポンプの順となる。この中で、クライオポンプのみがマルチ運転（一台の圧縮機で複数のポンプにHe ガスを供給する）が行われる。以下に各ポンプの省エネ化状況を示す。

1) クライオポンプのマルチ運転化

スパッタリング装置はマルチチャンバー化が進んでおり装置1台あたりのクライオポンプの使用量も多い。

その結果、クライオポンプの消費電力はプロセス時で装置消費電力の13～17%、アイドリング時では40～60%に達する。

クライオポンプは1 台の圧縮機で複数のポンプ冷凍機を動かすことができる（マルチ運転）。この場合、双方の消費電力は、圧縮機（Kw）≫冷凍機（W）となり圧縮機1 台でクライオポンプを何台運転できるかが省エネ

指数の改善となる。図11はスパッタリング装置における27%の省エネ化の実施例を示す⁵⁾。また、図12にイオン注入機における50%の省エネ化の実施例を示す。これらは、圧縮機の圧縮仕事の効率改善と冷凍機の冷却効率改善によるものである⁵⁾。

2) ドライポンプの省エネ化

ドライポンプの省エネ化のアプローチには2通りある。

① 機構そのものを変える

例えば、単段スクリー型から5段ルーツ型に変更することによって、1500 l/m クラスで4.7 Kwから3.6 Kwに23%の省エネ化が図れる。

② 機能・構造の見直し

図13に示すように、モーターの変更、アイドリング時（プロセス実行以外の時）の停止、更にドライポンプ前段にトラップを設置しバージ用 N2 ガスを削除することによって、トータルの省エネ対策を実施することで対策前に対して22%削減できたという報告がある⁶⁾。

3) ターボ分子ポンプの省エネ化

ターボ分子ポンプはポンプ単体では消費電力の小さいポンプではあるが、必ず後段に補助ポンプを必要とする。

とりわけ、プロセスガスの排気用真空ポンプシステムではターボ分子ポンプの後段の補助ポンプを小さくすることによって省エネが達成できる。プロセスの圧力の低圧化とプロセスガスの大流量排気のために、高圧縮型の

図12 イオン注入装置における消費電力の低減例 (50 Hz) :

従来の12インチクライオポンプでは5 Kw 大型圧縮機で2台運転していたのに対して、新たに開発したクライオポンプでは2.4 Kw 小型圧縮機で2台のポンプを運転できることから、約50%の省エネが達成した実施例を示す⁵⁾。

ターボ分子ポンプが要求されている。

4.2 ガス消費量の削減

環境負荷管理は地球温暖化に対する改善を目的とする面と原材料の廃棄から再利用することによる資源の有効利用の面がある。前者はシリコン酸化膜や窒化膜のドライエッチングや CVD クリーニングに用いられる PFC ガス廃棄防止と再利用を目的としている。

一方、後者は MOCVD プロセスで使用される液体ソ

図13 ドライポンプ省エネ化：

ドライポンプにおける省エネ化に関して、アプローチの仕方によってどのような効果が得られたかの実勢例を示す⁶⁾。

図14 ドライエッチングにおけるガスのリサイクル:

広帯域型 TMP を使用しているドライエッチング装置における、同ポンプの背圧を利用してプロセスガスをリサイクルしている実施例を示す⁶⁾。

ースの再利用化を目指すものである。

単に、プロセスガスの消費量削減を図ることを考えるのであれば、プラズマを利用するプロセスであれば、イオン化効率の改善や高圧プロセスの開発といった項目についても触れる必要があるが、ここでは環境負荷管理の見地から、原材料の再利用方法に関する報告とする。

1) ドライエッチングにおけるガスの再利用

シリコン酸化膜のドライエッチング等で現在使用されている PFC ガスは基本的にはそのまま大気中に廃棄してはいけない材料ガスである。

図14⁶⁾は広帯域型 TMP を使用して PFC ガスの再利用をした例を示す。広帯域型 TMP は後段の圧力は数百 Pa 程度でも運転することが出来るので、該 TMP の後段のガス量 Q2 をプロセスチャンバーに圧縮して再利用することが出来る。奥村⁵⁾の報告では80%の循環率が可能ということである。F ラジカル等寿命の長い反応種は再利用が可能となるので必然的に高効率の原材料を使用したことになる。

2) MOCVD における原材料の再利用

図15は MOCVD における原材料の回収することを目指すとしたシステム系である。ドライポンプの前後にそれぞれ目的が異なるトラップを用意している。前段の熱分解トラップは未反応物質を再度反応させるためプロセスチャンバーに生成された反応物質と同じものとして回収する。一方後段の水冷とラップは未反応原料や副反応物を捕捉し、最終的には原材料の供給元にて精製し再利用する。

図15 MOCVD における原材料のリサイクル:

MOCVD 装置におけるプロセスガス排気用ドライポンプの前後に目的が異なるトラップを配置して、成膜の原材料を回収する実施例を示す。

5. ま と め

真空プロセスのガス排気は、用いるポンプによって得られる真空の質が異なることから、プロセス環境に大きな影響を及ぼす。このため得られる結果も異なるので、以下の点を考慮する必要がある。

① クリーン化対応

- ・ポンプからの逆拡散を考慮して、オイルレス、パーティクルレスの真空排気系を構成する。
- ・水の分圧低減するためにクライオトラップを活用する。

② 省エネ化対応

- 基本的にはポンプの小型化を目指す.
- 高圧縮型ターボ分子ポンプによる排気システムを使用する.
- ドライポンプのパーシレス化を図る.

③ プロセスガスの再利用

- 環境保全を考慮して資源の有効活用を図る.

〔文 献〕

- 1) ウルトラクリーンテクノロジー1996; Vol. 8 No. 4

(1996) 245.

- 2) 鵜飼勝三: 第47回応用物理学関係連合講演会予稿集 No. 0 (2000) 46.
- 3) R. B. Honig and H. O. Hook: RCA Review, 21 (1960) 360.
- 4) T. Kikuti N. Ohsako and Y. Hayashi: Vacuum, 41 (1990) 7.
- 5) 山本 久; 真空ジャーナル No. 74 2001 January.
- 6) 奥村勝弥; 真空ジャーナル No. 69 2000 March.