

調査対象技術の技術概要

本標準技術集では、各種半導体製造関連装置のうち、真空・クリーン化技術が使用される半導体製造装置と、それぞれの装置に共通して使われる真空・クリーン化技術応用部品を対象としている。

1. 真空技術利用の動向

真空とは大気圧よりも低い圧力領域を指し、半導体製造装置の各種プロセスにおいて広範に利用されている。

1960年代までの半導体製造関連の真空技術は真空蒸着が主なものであった。そこで使われたのは高真空 HV(High Vacuum)であった。しかし、1970年代に超高真空 UHV(Ultra High Vacuum)及び極高真空 XHV(Extreme High Vacuum)の概念が確立して、それに基づく真空空間とそれに接する固体表面の双方の制御技術が実用レベルで使われるようになった。それは半導体デバイス製造プロセスの発展に寄与した。さらに真空中における化学反応の応用が先行してその理解が追隨した。これは、1970年代に半導体製造において、電子やイオン、あるいはプラズマや光による真空下での化学反応を盛んに利用するようになり、また、真空室に有毒で腐蝕性のガスを導入して作業をおこなうことも恒常的となったため、高度に管理された真空プロセスが必要とされたからである。

本標準技術集では、各プロセス技術について、その技術の内容と真空・クリーン化技術との関係の本編で解説を加えているため、それを参照されたい。以下に、おもな真空下の物理的・化学的現象と、一般的な利用例を示す。

表1 真空下の物理・化学現象と利用例

現象	利用目的	利用例
(1) プラズマ反応	材料合成	太陽電池、ダイヤモンド薄膜
	表面改質	親水性表面層形成
(2) 元素供給	組成改変	イオン注入、表面局所合金化
(3) 分解析出	成膜	減圧CVD、プラズマCVD、ガス源MBE、人工格子
(4) 表面反応	成膜・表面形成	化学蒸着、化成スパッタリング、イオンプレーティング、硬質皮膜形成
(5) 反応除去	エッチング	微細加工、電子デバイス製造

出典：「初歩から学ぶ真空技術」（1999年7月1日）真空工業会編、株式会社工業調査会発行、101頁、表8.1 真空下の化学現象と利用例

(1) のグロー放電やマイクロ波放電などで化学反応を起こさせるプラズマ反応では、材料を合成する目的で、太陽電池やダイヤモンド薄膜の生成に利用されている。また、プラズマによって表面だけを叩いて材料の表面を改質する方法がある。

(2) の元素供給は、高速のイオンを固体表面に叩きこみ、金属表面の改質に効果を高める技術である。これは加速されたイオンが固体表面だけでなく内部に埋め込まれるもので、イオン注入が代表的な利用例である。

(3) の分解析出は、熱エネルギーやプラズマ放電、光（レーザ、紫外線など）などによりガス分子を励起させ、目的の物質をガスから表面へ析出させる方法である。薄膜材料を構成する元素からなる一種または数種の化合物ガス、単体ガスを基板上に供給し、気相または基板表面での化学反応により薄膜を形成する技術が CVD（化学気相蒸着）であり、代表的利用例である。

(4) の表面反応は、共存するガスとの表面反応により、特別な成膜や表面層を形成するもので、化学蒸着、化成スパッタリングやイオンプレーティングがある。特にイオンプレーティングは、密着性の強い皮膜が得られ、付き回りが良い、膜質の良い化合物皮膜が得られるなどの幾つかの特徴を持ち、超硬工具や装身具用の成膜技術として広く利用されている。

(5) の反応除去は、つまりエッチングである。エッチングは、ウエーハまたはウエーハ表面上に形成された薄膜の前面または特定した場所を必要な厚さだけ化学的、物理的に取り除くことで、微細加工や電子デバイスの製造には重要な利用例となる。

2. クリーン化技術の動向

真空にはガスを排気して清浄環境を作るという観念が含まれている。しかし、厳密にいうと、クリーン化技術には次の3項目の概念が含まれる。①物質あるいはガスの不純物濃度を充分低く抑制する。②作業環境及び雰囲気的清浄を保ち、汚染物質を導入しない。③半導体デバイス製造プロセスにおける微細加工上の障害物であるパーティクルの導入と発生を抑制する。以下にさらに説明を加える。

真空・クリーン化技術が利用される目的として、①の側面から見ると、真空蒸着のように、より完全な反応をおこすために、各種プロセスにおいて必要とされる気体（気化した金属などを含む）以外を除去して、より制御しやすい環境を作り出すことである。半導体デバイスの製造においては、例えば空気による酸化であっても想定外に成分が変化することは好ましくないため、必要とされない化学反応や堆積を引き起こす気体分子を極力排除し、必要なガスを希釈する場合は不活性ガスを用いるなどして、クリーンな真空下で各種のプロセスがおこなわれるようになっている。

また、クリーン化技術という点では、クリーンな環境に異物を持ちこまないということが重要であり、チャンバーだけでなく配管に到るまでガス放出の少ない材質が使用され、特殊な表面加工や洗浄がおこなわれている。加えて、初回の使用時のみならず、テープヒータなどを用いたベーキング（内壁面に吸着している気体分子を手早く追い出す処理）が広く取られていたりする。これが②である。

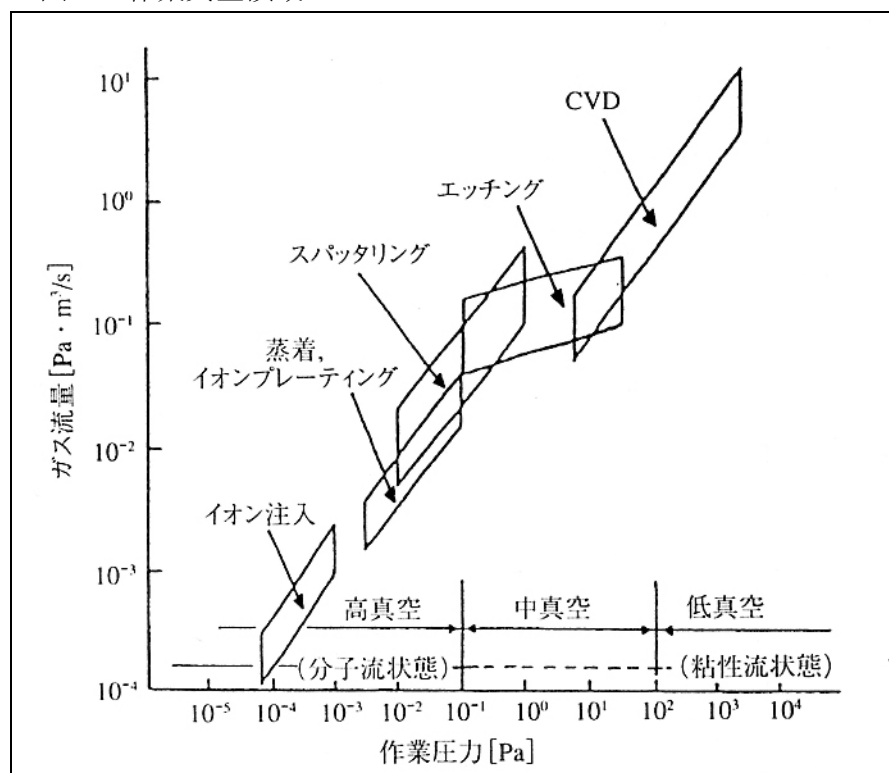
半導体製造装置におけるクリーン化技術としては、さらに③のパーティクル（塵）の発生や他所からの進入を、極力抑えることが重要である。パーティクルは、反応生成物の真空槽内への堆積と剥離から発生したり、真空槽内の駆動部分や、油回転ポンプなどの潤滑油など、その装置内での発生だけでなく、他所から運ばれたウエーハによる転写によっても引き起こされる。

こうした繊細な技術であるため、半導体製造装置メーカーはクリーン化において独自のノウハウを確立しており、また、一般には公開されないものとなっている。

3. 各製造プロセスと真空装置の関係

本標準技術集に収録されている各製造プロセスの製造装置技術には、比較的初期に開発され現在はほとんど使用されていないものから、最先端の現在開発中の技術までが含まれており、それぞれ公開可能な範囲で必要な真空についての記載を施したが、それらをプロセス全体として俯瞰的に見ると、図1のような関係に整理される。

図1 作業真空領域

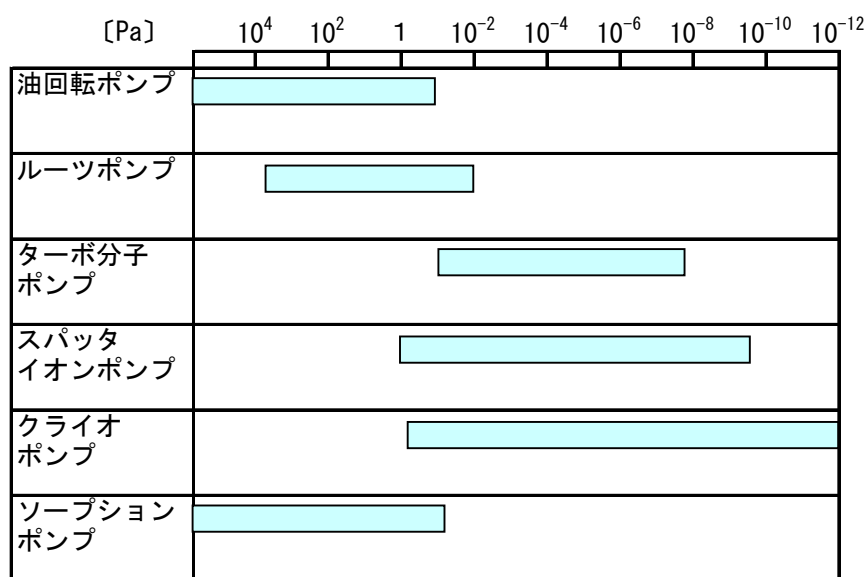


出典：「初歩から学ぶ真空技術」（1999年7月1日）真空工業会編、株式会社工業調査会発行、103頁、図8.2 半導体製造装置の作業条件

これらのプロセスで必要とされる真空ポンプは、高真空まで (10^{-5} Pa 程度) まで排気でき、中間流 (分子流と粘性流の間) で十分な排気能力を有するものでなければならない。また、耐腐蝕性、対毒性の対策が取られたものであることも必要な条件である。そして、今日では地球環境への配慮からより省エネルギーなポンプであることも求められている。

図2に真空ポンプの種類別の排気能力を示す。このように真空ポンプの性能は種類によって異なっており、通常、大気圧からのあら引きをおこなうポンプと、本引きをおこなうポンプといった具合に、複数の種類のポンプが組み合わされて使用されている。また、本編2-2-7ルーツポンプ (2) の図1「後段ポンプとの組み合わせによる排気性能の例」に真空ポンプ同士の組み合わせによる排気性能の違いを載せたので参照されたい。

図2 おもな真空ポンプの動作圧力範囲

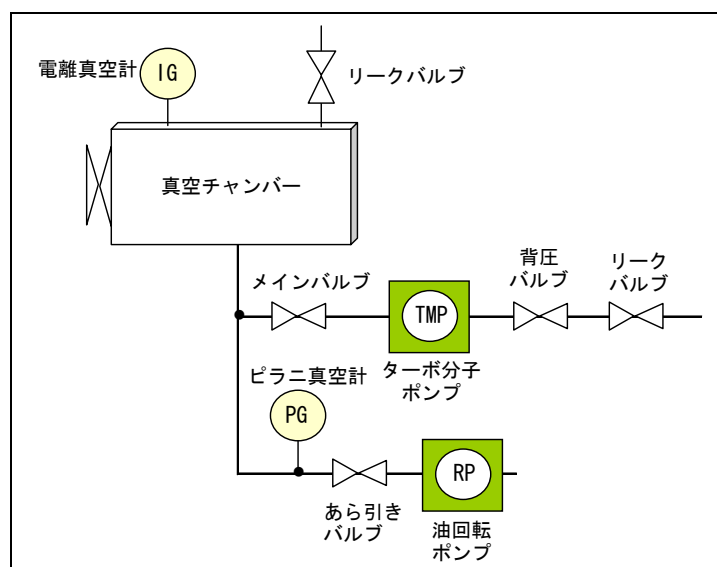


出典：本標準技術集向けに作成

次に、装置における真空排気系の組み合わせの概略を示す。なお、これは、基本的な構成を示すために作成したもので、実際にはガスの導入のための系統や、ガスを排気する際の吸着剤、処理装置などが入るなど、さまざまな目的の装置器具が組み込まれている。

図3は、バッチシステムなどのチャンバーが直接大気に開放されるタイプの例で、ターボ分子ポンプは大気圧から真空引きがおこなえないため、まず油回転ポンプであら引きをおこない、ピラニ真空系で真空度を確かめた上で、ターボ分子ポンプで本引きをおこなう。チャンバー内の真空度は高真空領域で作動する電離真空計で計測する。また、チャンバーとターボ分子ポンプに取り付けるリークバルブは、大気に開放する際に必要となる。

図3 バッチシステムなどの真空排気系の基本的な構成



出典：本標準技術集向けに作成

真空チャンバーの排気では、リークがおこらないことが重要であり、それぞれの機器の接続には本編の2「真空チャンバー外で使用される真空・クリーン化技術応用部品」であげたバルブやフランジおよびガスケット、フィードスルー部品などが使用され、極めて高い機密性を保持している。

その一方で、外部からのリーク以外に、真空用のチャンバーの内壁をはじめさまざまな部材からガスが放出される。実際の排気速度は、ポンプの排気速度とこのガス放出量にかかってくるため、ガス放出の少ない材料が選択されている。ガス放出の主な成分は水（水蒸気）で、一般に金属やガラスのガス放出量は少なく、樹脂やゴムでは多くなっている。樹脂やゴムはおもにリークを防止するシール部に使用されるが、高真空になるほど、金属を利用した部品が使用されている。これらについては、3「真空チャンバー内で使用される真空・クリーン化技術応用部品」で主に詳述している。

現在では、図3に示したバッチ式の装置よりも、それぞれのプロセス反応をより均一に制御することが可能な、ウエーハを1枚ずつ処理する枚葉式の装置が普及しており、スループットの向上のためにも反応の高速化が図られているが、真空引きにおいてもできる限り真空チャンバー内を大気に開放しないことが望ましくロードロック機構を装備した装置が一般化している。これらの装置においては、メンテナンス時を除いて、ウエーハを収めたカセットを出し入れするロード／アンロード室以外はすべて真空に維持されており、より安定した装置の運用を可能としている。ロードロック機構とその構成部品についても3「真空チャンバー内で使用される真空・クリーン化技術応用部品」で取り上げているので参照頂きたい。

最後に、樹系図に使用された略号について、解説を付す。各個別技術で使用されているものについては、その場所で説明をつけてある。また、本標準技術集の個別技術では圧力の単位として Pa (=N/m²) で表されているものと、Torr という単位で表されているものがあるが、その関係は以下の通りである。

$$1 \text{ Torr} = 133.3 \text{ Pa}$$

表2 樹系図に使用された略号

CVD (Chemical Vapor Deposition)	化学的気相成長
LPCVD (Low Pressure CVD)	減圧CVD、低圧CVD
MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)	有機金属CVD
ALCVD (Atomic Layer CVD)	原子層堆積法によるCVD
PECVD (Plasma Enhanced CVD)	プラズマCVD
ECR (Electron Cyclotron Resonance)	電子サイクロトン共鳴
PE (Plasma Etching)	プラズマエッチング
RIE (Reactive Ion Etching)	反応性イオンエッチング
ICP (Inductive Coupling Plasma)	誘導結合プラズマ
SWP (Surface Wave Plasma)	表面波プラズマ
NLD (magnetic Neutral Loop Discharge)	磁気中性線放電
CMP (Chemical Mechanical Polishing)	化学機械研磨

【出典／参考資料】

出典：「初歩から学ぶ真空技術」（1999年7月1日）真空工業会編、株式会社工業調査会発行、101頁、表8.1 真空下の化学現象と利用例

出典：「初歩から学ぶ真空技術」（1999年7月1日）真空工業会編、株式会社工業調査会発行、103頁、図8.2 半導体製造装置の作業条件