

極高真空技術の現状

Present Status of Extreme High Vacuum Techniques

富永 五郎*

Goroh TOMINAGA

現在すでに超高真空は実用の域に達しているが、 $<10^{-10}$ Torr以下の極高真空技術は開発の緒についたところである。 $10^{-11}\sim 10^{-12}$ Torrの真空をつくることはそれほど困難ではないが、しかし、なにぶんにもこのような真空を測定する確実な方法が確立していない。この分野にどのような問題があり、どのように解決されようとしているかを概観する。

1. 極高真空とは

約 10 年まえまでは、意識的に利用できる真空は 10^{-7} Torr ぐらいであった。1940 年代の中頃では、当時のもっとも良いポンプを使い、十分な注意をもって排気を行なっても、電離真空計の指度は 10^{-8} Torr やそれを切るということがなかった。しかし実際 $<10^{-7}$ Torr の真空は得られなかったかという、それを否定しなければならぬような現象がだんだんと多くなってきた。当時このような良い真空は主として熱電子放射、光電子放射等の表面現象や放電関係の研究に用いられていた。たとえば Anderson¹⁾ や Nottingham²⁾ は純タンゲステンよりの熱電子放射の現象で電離真空計の指度は $\sim 10^{-7}$ Torr を指しているのに、真空はもっと良いと思わざるをえない現象を見だし、電離真空計の指度に対する疑問をなげかけている。1947 年に至って Nottingham³⁾ は電離真空計の測定可能な圧力に下限が存在することを明らかにした。すなわちこの下限はこの型の真空計のイオンコレクタに残留電流が存在するために生ずるのであるが、この残留電流の生ずるメカニズムは次のようなものである。電離真空計内で電子は陽極を衝撃する際にそのエネルギーに応じた X 線 (150~200 V) を発生する。この X 線はイオンコレクタを照射して光電子を発生する。イオンコレクタの電位は正電荷をもつイオンを集める配位であるから、光電子は再びイオンコレクタにもどることなく放射されてしまう。この電流はイオンコレクタへの正イオンの流入と区別することはできないが、その大きさはただ電子電流に比例する圧力に無関係な成分で、上記の残留電流を形成するというわけである。

この欠点を軽減するために考案されたのが Bayard と Alpert⁴⁾ による Bayard-Alpert 型電離真空計、あるいは BA ゲージと呼ばれる電離真空計である。ふつうの電離真空計の電極配置は三極真空管と本質的に同じである。ただグリッドを陽極に、プレートにイオンコレクタとして使うのがふつうであるが、このような電極配置と電位配位のために、グリッドで発生する X 線のかなりの部分がグリッドをとりまくイオンコレクタを照射して残留電流を形成する。この大きさが圧力換算で $\lesssim 10^{-7}$ Torr を示すのである。そこで Bayard と Alpert はイオンコレクタを極端に小さくして、X 線がそれを照射する量を

小さくすることを試みた。すなわちイオンコレクタを一本の細線 (0.1~0.2 mm ϕ) にしたのである。その代わりイオンの収率を良くするためにフィラメントとイオンコレクタの場所を交換してイオンコレクタをグリッドの中心に、フィラメントをグリッドの外においた。こうすることによって残留イオンコレクタ電流を 2 桁以上小さくすることに成功し、 $10^{-8}\sim 10^{-10}$ Torr の圧力を測定することができるようになった。それ以来 $10^{-8}\sim 10^{-10}$ Torr の真空技術は急速に発展し、種々の新しい型のポンプや部品、材料が開発されて、現在では、たとえば $10^{-8}\sim 10^{-9}$ Torr で種々の物質を真空蒸着することもふつうに可能となった。

このように真空度のちがいで、測定法を中心にして質の異なる真空技術が要求される。そこでそれに応じて真空を分類することが便利である。 $10^{-4}\sim 10^{-7}$ Torr を高真空 (high vacuum), $10^{-8}\sim 10^{-10}$ Torr を超高真空 (ultra high vacuum, UHV) という。これに対して $<10^{-10}$ Torr の真空すなわち BA ゲージでは確実に測定しえない範囲の真空を極高真空 (extreme high vacuum, EHV) とよんでいる。現在、EHV はちょうど UHV の 1940 年代のような有様といえる。ここでもむしろそれを作ることも測ることの方に問題がありそうである。 10^{-12} Torr の真空は、いろいろな事情から実現していると思われるけれどもこの範囲の技術には困難が多い。もし $<10^{-10}$ Torr の真空が確実に測れるようになれば、EHV 技術は飛躍的に発展すると思われる。

2. 極高真空を測ること

(1) 熱陰極電離真空計による測定 BA ゲージは上に述べたように 1950 年代の真空度の可測限界をうち破るのに成功した。しかし、そうなるもっとも低い圧力を測ろうとする努力が起るのには当然である。1960 年代になってこの問題がクローズアップしてきた。それは大別するとつぎの五つの方法になる。

(i) 気体の中性分子を電離するための電子流を磁界によってコリメートして、イオンコレクタが陽極 (集電子電極) から直視できる位置にないような電極配置にすると同時に、イオンコレクタより放出される光電子をもともにもどすようにする方法 (Klopper⁵⁾)。)

* 東京大学生産技術研究所第 1 部

(ii) 電界 (Lafferty⁶⁾) や磁界 (Mourad ほか⁷⁾) によって電子の軌道をできるだけ長くして、光電子流を相対的に小さくする方法。

(iii) イオンコレクタをあくまでも細く小さくする方法 (Venema & Bandringa⁸⁾, Van Oostrom⁹⁾).

(iv) サプレッサ電極を置いて、イオンコレクタの表面に光電子が放出されないような電界をつくる (Schue-mann¹⁰⁾).

(v) 変調電極を置いて、真のイオン電流だけを変調することによって光電子流と区別する (Redhead¹¹⁾).

これらの方法はすべてそれなりに目的を達することができるが同時に欠点をもっている。たとえば Van Oostrom の方法は BA ゲージのイオンコレクタを 4μ にも細くするのであるが、このために確かに光電子流は減少するが構造的に弱くなって使いにくいと同時に、圧力イオン電流に非直線性が生ずる。これは極細のイオンコレクタの周囲に生ずる強い対数型電界にイオンが特別な軌道をえがいてトラップされてしまうためである。このような電界による荷電粒子の軌道を orbitron 軌道と呼んでいるが、この効果を電子に対して利用して、電子の軌道を長くして、電離効果を大きくしたものが (ii) に述べた Mourad 達の orbitron ゲージである。これは現在有望な EHV ゲージの一つの型と考えられている。

もっとも有望と考えられ、EHV ゲージの発展を方向づけているのは Redhead の変調ゲージである。これは

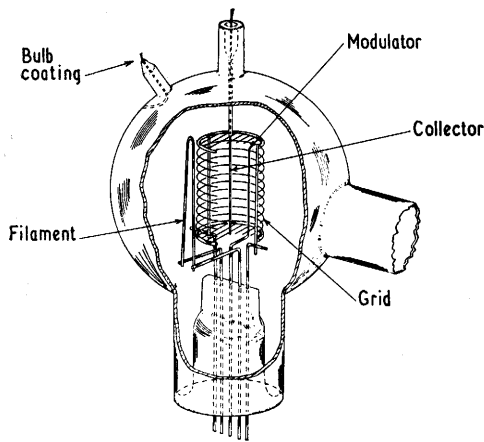


図 1 変調ゲージ (Redhead)¹²⁾.

図 1 に示すように BA ゲージのグリッド内にイオンコレクタとならべて変調用の補助電極 (モジュレータ) をそう入したものである。そしてモジュレータの電位をグリッド電位とコレクタ電位に切り換える。このとき光電子流はその原因がグリッドよりの X 線であり、これはモジュレータ電位に無関係であるから変調されない。しかし空間で生じたイオンは補助電極の電位がコレクタと等電位のときは、かなりの部分がそれに流れ込むので、イオンコレクタの電流は減少する。この変調度を圧力の高

いところ ($10^{-5} \sim 10^{-7}$ Torr), すなわち光電子流が真のイオン電流に比べて無視できる範囲で測定しておけば、圧力のきわめて低いところで真のイオン電流を知ることができる。この方法ではしかしその変調度と SN 比から $\sim 10^{-11}$ Torr の測定が可能になるにすぎない。その原因は、残留電流 (光電子流が主要成分だが後述するようにそれだけではない) もいづらか変調をうけるためである。この補正を行えば Redhead は 3×10^{-13} Torr まで測定可能と言っている¹²⁾が、この補正にはきわめて高度な真空技術を必要とするので、実用的とはいえない。

変調ゲージの可測下限を延長するためには、残留電流の変調が本質的な問題であった。これを最初に論じたのは Appelt¹⁵⁾ であった。こうして残留電流の性質を調べているうちに Redhead は重大な発見をした。それは electronic desorption と呼ばれる現象である¹⁶⁾。すなわち、グリッド (陽極) の表面はつねに電子の衝撃を受けているが、そのときグリッド表面に吸着している気体分子はそれによってイオンおよび中性分子 (原子) として放出されるのである。この現象は酸素、水素や CO 等の活性な気体の場合に著しく、この現象によるイオン電流は気相にある気体分子の電離によるイオン電流の数倍に達することがある。極高真空装置の残留ガスの主成分は、あとで述べるように、水素と CO であるからこの現象はとくに重要な意味をもっている。

超高真空の範囲、すなわち 10^{-10} Torr であれば変調ゲージはほとんど正確にこの影響をのぞくことができる。とくに電子電流を比較的大きくした場合にこの影響は小さくなる。このことを図 2 の Redhead の結果¹⁷⁾で

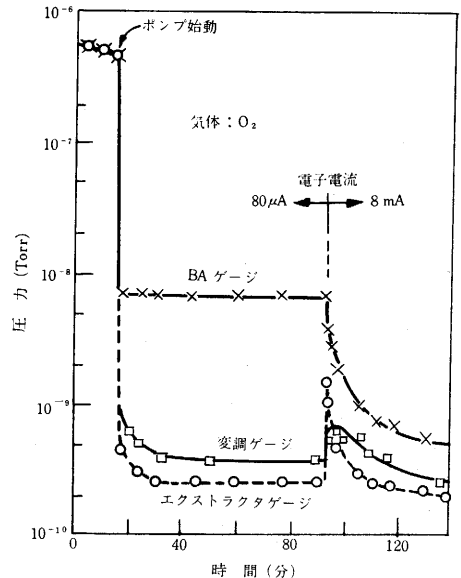


図 2 各種ゲージの酸素ふん囲気中での electronic desorption による特性の差異と電子電流の影響¹⁷⁾.

示そう。各種のゲージのついている真空系に酸素を導入して $t=0$ でそのバルブを閉じる。15 分ぐらいたってポンプを動かして酸素の圧力を急速にさげると変調ゲージの読みは正しい値を示すと思われるエクストラクタゲージ (後出) とほとんど同じであるが、ふつうの BA ゲージはその数十倍の値を示している。ほぼ定常な値を示すに至る圧力変化の様子をみても BA ゲージは誤った値を示しているらしいことは推測される。90 分ぐらまでは電子電流 $80 \mu\text{A}$ の測定であるが、ここでそれを 8mA に増加すると各種ゲージ間の指度の差はちぢまる。

このことから活性気体の圧力を測定するときには (真空装置の残留気体は多くの場合活性気体である)、たとえそれが変調法を必要としないと思われるような比較的高い圧力であっても、変調法を併用してチェックする必要があるということ、およびその場合電子電流は $5\sim 10\text{mA}$ の程度のかかなり大きな電流を用うべきことを知る。しかし大きな電子電流を使うことは熱陰極の真空系への影響が大きくなるのでこの点からはまことに好ましくない。活性気体の中では、それとの反応を考えればなおさらである。この点は矛盾している。また最近われわれが

細かく測定したところ $>1\text{mA}$ の電子電流で変調ゲージに非直線性の現われることが見いだされた¹⁸⁾。

極高真空の測定を目標にすると、electronic desorption を含めた残留電流についての対策は変調法よりもっと徹底したものにならなければならない。この開発の方向で現在一応の完成した型と思われている Redhead のゲージは図 3 に示すエクストラクタゲージである¹⁷⁾。まず X 線効果に対する対策はコレクタを細線にすると同時にシールドをもうけてグリッド表面で発生した X 線をしゃへいする。肝心の electronic desorption についての対策はイオンコレクタをかこんでイオンレフレクタを設けたことである。この電位はグリッドと同じなので、イオンコレクタのある部屋にとび込んできたイオンのうち electronic desorption によってグリッド表面よりきたものはこれに入ることが可能である。しかし空間でつくられたイオンはそれよりエネルギーが低いのでこれによって反射されて、結局はアース電位にあるイオンコレクタに入ることになる。ふつうシールドとフィラメントは同電位 ($+100\text{V}$) で使用するが、これで X 線効果は圧力換算で $3 \times 10^{-13}\text{Torr}$ 、electronic desorption による残留電流は BA ゲージの $<1/500$ と測定されている。しかも感度は BA ゲージと同程度 ($\sim 10\text{Torr}^{-1}$) である。

このゲージでも変調をかけることは望ましいことである。しかし変調には一つの問題がある。ふつう変調の方法は電源の簡単さのためあって、モジュレータをグリッド電位とコレクタ電位に切換える方法をとっている。モジュレータがコレクタ電位のときはモジュレータに電子は流入しないが、グリッド電位になるとこれに電力が流れ込む。そのため electronic desorption が起こると同時に、モジュレータの温度が上昇して thermal desorption も起こる。このことは Lange と Singleton¹⁹⁾ によって見いだされた。モジュレータの温度変化は 65°C 程度と推定されている。この効果をへらし、なお変調効果を実用上さしつかえない程度に保つ方法として Redhead¹⁴⁾ などはモジュレータ電位を (グリッド電位 -20V) と (グリッド電位 -60V) の間で変調を行なうことを提案している。これでもモジュレータの温度変化は 20°C 程度は残る。最近辻たち²⁰⁾ はモジュレータ電位を $0\text{V}\sim -150\text{V}$ の間で変調を行なっても感度の低下はほとんどみられないことを見出し新しい変調法として提案している。この場合はモジュレータへの電力の流入はないから温度変化もおこらず、また electronic desorption もなく、コロンブスの卵的な良い方法と思う。

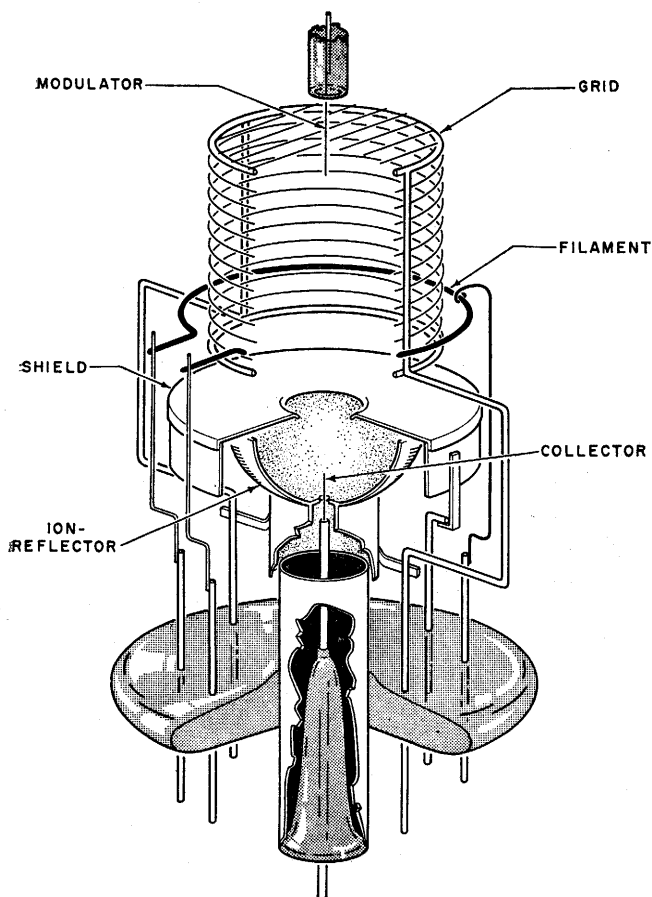


図 3 エクストラクタゲージ (Redhead)¹⁷⁾。

これらのゲージの感度はいずれも $\sim 10 \text{ Torr}^{-1}$ の程度である。電子電流 10 mA で 10^{-12} Torr を測定すれば $\sim 10^{-13} \text{ A}$ のイオン電流を測定することになる。electronic desorption に対する十分な対策がたでられれば、電子電流は小さいことが望ましいので、もし電子電流として $10 \mu\text{A}$ を使うときを考えれば、測るべきイオン電流は 10^{-16} A となる。このようなわけで EHV の測定では2次電子増倍管を使いたい。しかし一方イオンコレクタとして増倍管の1st ダイノードを用いると寸法が大きくなって、X線効果を小さくするための従来の方法と矛盾する。この問題も今後に残されている。

(2) 冷陰極放電ゲージによる測定 高真空ゲージとして熱陰極電離真空計と並んで以前から使われているものに、磁界内放電を利用したペニングゲージ(あるいはフリップスゲージ)と呼ばれるゲージがある。ペニングゲージは $\leq 10^{-7} \text{ Torr}$ になると放電は消えて使えないが、電極構造をマグネトロン型にすることによってこの放電はもっと真空のよいところまで延長できることが1950年代にすでに知られていた。電位配位によってマグネトロン型とか逆マグネトロン型ゲージと呼ばれている。これを改良して EHV ゲージをつくろうという試みが行なわれている。

放電ゲージはいくつかの特長をもっている。熱陰極のないこと、X線リミットのないこと、感度が大きい($\sim 10 \text{ A/Torr}$)こと等である。電離真空計のX線リミットに相当する可測圧力の下限をきめるものは、この場合、陰極よりの電界電子放射である。ここでも Redhead はこの電子放射をおさえる補助電極のそう入によってこの問題をかんたんに解決して 10^{-11} Torr まで測定できる“Redhead ゲージ”をつくった(図4)²¹⁾。このゲージの可測下限は放電が不安定になり、ついには消えてしま

うことで定められる。またスイッチを入れてから放電が開始するまでの時間は圧力が低下するに従って急速に増大し、EHV 領域では数十分も要することになって実用的でない。このために電極内面に放射性物質をつけた Kreisman ゲージ²²⁾、放電開始用の電子線源をつけた triggered ゲージ²³⁾等いろいろな考案がなされた。しかしこれら放電ゲージの致命的ともいえる欠点は放電電流と圧力の関係が直線的でなく、しかも放電のモードが変化する圧力が存在することである。たとえば Redhead ゲージは $\sim 10^{-10} \text{ Torr}$ 付近で放電モードが変わって特性に折れ曲がりができる。これでは校正曲線の外挿によって圧力を求めることができなくなり未知の真空領域を開発するためのゲージとしては使用できない。最近 Newton らはこの種のゲージの特性を系統的に調べて Lafferty ゲージが少なくとも 10^{-12} Torr まで感度の直線性が保たれていることを見だし、なお、この性質はさらに低圧まで延長しうる可能性のあることを示した²⁴⁾。Lafferty ゲージとは円筒陽極の中心軸にそって熱陰極をもったマグネトロン型ゲージで、軸方向の磁界はカットオフ値より大きい。このゲージは別にイオンコレクタを備えているし放電ゲージとはいえないが、特性の直線性には電子の多量の供給が寄与していることは確実である。これを放電ゲージに適用するに当たって林は熱陰極を用いずに行なうために Ni^{63} の β 線を利用するくふうをしている。ただし彼の場合は Kreisman と違って β 線を直接に用いず、それをいったんターゲットに当て、そこで生ずるエネルギーの小さな2次電子を放電領域に導入し、しかも適当なバイアス電圧を用いてこれらの電子が直接には電極に流入しないようにして放電への寄与を大きくしている²⁵⁾(図5)。Kreisman の場合は β 線を直接使用するので、そのエネルギーが大きすぎて放電空間に止まることができず、放電への寄与は少ないと考えられる。図5(b)にみるように現在のところ $3 \times 10^{-11} \text{ Torr}$ までの特性の改善に成功している。この原理はスパッタイオンポンプにも応用して EHV 域での排気速度と放電持続性の向上に役立っている。

3. 極高真空をつくること

極高真空をつくることは $10^{-12} \sim 10^{-13} \text{ Torr}$ 程度なら、いまのところそれを測るよりも容易のようである。“ようである”というのは、上述のように、これらを測定する確実なゲージがないので推定が入っているのこのように表現したまでである。

小型のガラス製装置ならば、十分な脱ガスと排気の後、封じ切って全体を液体ヘリウムに浸けることでこのような真空は可能である。しかし超高真空領域でもそうであったが、

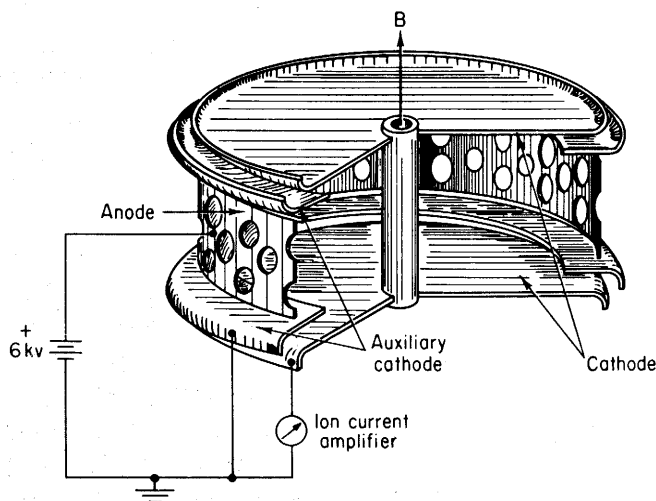
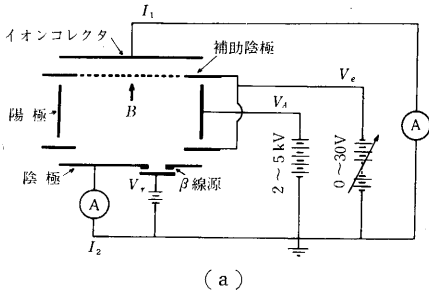
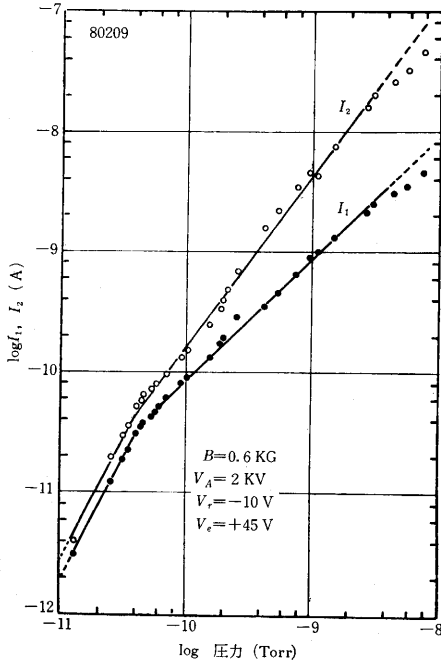


図4 Redhead ゲージ²¹⁾。



(a)



(b)

図 5 Ni^{63} を利用して特性の改善を図った林の放電ゲージの構造と特性

極高真空領域において重要になる現象は、容器壁を通しての気体の透過である。透過する気体は硼硅酸ガラスではヘリウム、金属の場合は水素がもっとも多い。ガラスを透過する空気中のヘリウムの量は室温で 1mm 厚のとき 10^{-14} Torr/sec·cm² の程度であるから、1l の立方体を 1l/sec の排気速度で排気しているときは 6×10^{-12} Torr のヘリウムで平衡に達することになる。Hobson 達はある時期にこれをさけるために、ヘリウム透過量の少ないアルミノシリケートガラス (Dow Corning # 1720) を用いた²⁶⁾。われわれも試みたことはあるが、このガラスは工作が極度に困難で、また入手も容易でない。硼硅酸ガラスでも加熱脱ガス後に液体窒素等で低温にするとか、また内面にうすくセシウムをコートする (cesiation)²⁷⁾ とかでこれをさけることはできる。金属材料はもっぱら低カーボンの不銹鋼が用いられるが、Lewin らの研究²⁸⁾ によると材料の内部に溶けている水素をふつうの方法ではなかなか少なくしえないので、それからの放出ガスを 10^{-12}

Torr/sec·cm² 以下にすることはむずかしいことを推定し実験的にも示した。このような放出ガスをへらす方法として現在われわれが使えるものは、材料を真空中で加熱脱ガスする程度のことであるが、冶金学の進歩でもともと含有ガス量の少ない材料ができれば、その真空工学への寄与は大きい。

極高真空の排気に使えるポンプは、水銀や油の拡散ポンプ、スパッタイオンポンプ、サブリメーションポンプ、クライオポンプである。拡散ポンプは超高真空技術が開発される以前から最もふつうに使われており、それによってなかなか真空が良くならなかつた苦い経験をもたれた方が多いので、これは極高真空にはもちろん、超高真空にも使えない型のポンプであると誤解している人が多い。しかしこの排気機構には原理的な限界はない。ただポンプが加熱されるためにその器壁を通ってのガスの透過、作動液 (水銀や油) が循環するので、気体がそれと物理的・化学的に結合して真空側に放出される現象、ジェット噴流を通して高圧側より真空側へのガスの逆拡散、また油の場合にはその分解によるガス発生等が問題である。したがって拡散ポンプで超 (極) 高真空をつくるためにはそれに応じた設計と使用方法が必要なことはいうまでもない。使用方法については、たとえば 2 段あるいはそれ以上直列にポンプをならべる等のことである²⁹⁾。油拡散ポンプを極高真空に用いる場合の最大の問題は油の分解 (とくに熱分解) であると考えられる。最近のわれわれの測定ではシリコン油 DC 705 で従来考えられていた量よりも 2 桁以上小さくしうる可能性のあることがわかった³⁰⁾。将来とも大排気速度を実現しうるポンプとして拡散ポンプはクライオポンプとともに極高真空領域で主流を占めるであろう。

スパッタイオンポンプはペニングゲージと同じ形式の磁界内放電を行ない、それによって活性金属 (主としてチタンが使われる) でつくられている陰極をスパッタしそれによるゲッタ作用によって排気を行なうポンプである。一時は商業的宣伝も手伝って過信されたが、実際水銀や油のような作動液体を使用しないのでそれらの蒸気から完全に自由であることは最大の利点である。しかしこの型のポンプはガスを系外に放出するのではなくゲッタ作用でガスをつかまえているにすぎない。しかもそれと同じ場所で放電やスパッタリングのような激しい現象がおこっているから、一度排気したガスの再放出が起るのは当然なことといえる。そのためいかにあらかじめ十分脱ガスした陰極材料を使用しても、このポンプ単独では $\sim 10^{-10}$ Torr 以下にはならないと思わなければならない。

サブリメーションポンプはやはりチタンのような活性金属のゲッタ作用を使うものであるが、その新鮮な活性面をつくるのをサブリメーションで行なうものである。スパッタリングを利用すると高真空になるほどその量は

へってくるが、サブリメーションを利用すれば望むだけのチタンを蒸発させるので大排気容量をうることができる。ただし電離作用を伴わないので稀ガスに対してはまったく排気作用をもたない。このため補助的な役割

しかもちえない。また材料が本来含んでいたガスの放出を伴うことが限界となる。

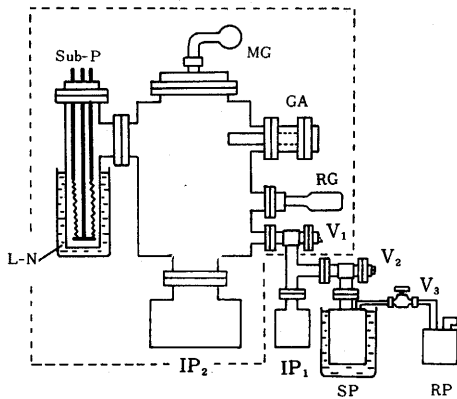
クライオポンプは液体ヘリウム付近の温度の固体表面でガスをトラップするポンプである。液体ヘリウム温度(4.2°K)での各種気体の飽和蒸気圧はヘリウムと水素を除けばもっとも高いネオンですら $<10^{-12}$ Torr 以下で問題にならない。3°K にすれば水素も $\sim 10^{-12}$ Torr になる。したがってこの方法でヘリウム以外の排気は原理的に可能である。

こうして極高真空に使えるポンプを概観すると、この領域では一種類のポンプでは十分でないことがわかる。将来拡散ポンプの改良がすすめばこれは単独で極高真空を作れるポンプとなるかもしれないが、このときでもトラップは必須であろう。極高真空をつくるには今のところ種々の(あるいはすべての型の)ポンプを組合わせて、それぞれの排気の段階に応じてそれらの特性を十分に発揮させるというような方法にならざるをえない。

最後に筆者の行なった極高真空の排気の例を述べる。用いた真空排気系を図6(a)に示す。各構成部品は図の説明に記したとおりである。容器は約100lでこれも含めてV₃より高真空側はすべて不銹鋼製である。またガスケットはすべて高純度アルミニウムを使用している。

この系の排気の過程と圧力の関係を図6(b)に示す。まずRPで $10^{-1}\sim 10^{-2}$ Torrまで粗引きを行なってV₃を閉じる。これまでにSPの脱ガスをしておくことはいうまでもない。つぎにSPを液体窒素で冷却しながら点線部分(IP₂を含むことに注意)の加熱脱ガスを行なう。温度は250°C程度で十分である。10~20時間ほど行なった後加熱を止め、V₂を閉じてIP₁を始動する。装置が十分に冷えてこのポンプでの到達圧力($\sim 10^{-8}$ Torr)になったときに、V₁を閉じてIP₂を働かせる。この状態ではIP₂は、かなり大型であるにもかかわらず圧力は1桁ぐらいしか下がらないで $\sim 10^{-9}$ Torrになるのがふつうである。ここでSub-Pを働かせながら数日間排気すると圧力は徐々に下がって $2\sim 3 \times 10^{-11}$ Torrになる。ここに示した例の場合は10日以上排気をつづけその間にしばしばSub-Pをフラッシュしても思ったように圧力が下がらないので調べたところ、ガスケットの1箇所にリークが発見された。それを増しじめて止めたあとSub-Pを液体窒素で冷却すると再び圧力は下がり、 1×10^{-11} Torrになり、さらにSub-Pのフラッシュを適当に行なうことにより明らかに圧力の低下が認められた。種々の推定から $6\sim 8 \times 10^{-12}$ Torrあるいはそれ以下と思われる状態が得られた。

この各排気ステージの残留ガスを分析した結果



RP: 油回転ポンプ; SP: ソープションポンプ, IP₁: スパッタイオンポンプ公称排気速度 20l/sec, IP₂: " " " 320l/sec, Sub-P: サブリメーションポンプ, L-N: 液体窒素, MG: 変調ゲージ, RG: Redhead ゲージ, GA: ガス分析器, V₁, V₂: 金属バルブ, V₃: 真空バルブ,

図6(a) 極高真空排気系の1例

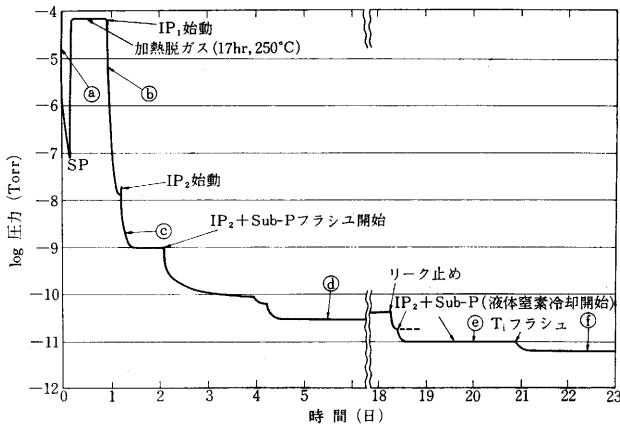


図6(b) 極高真空排気系の排気曲線の1例

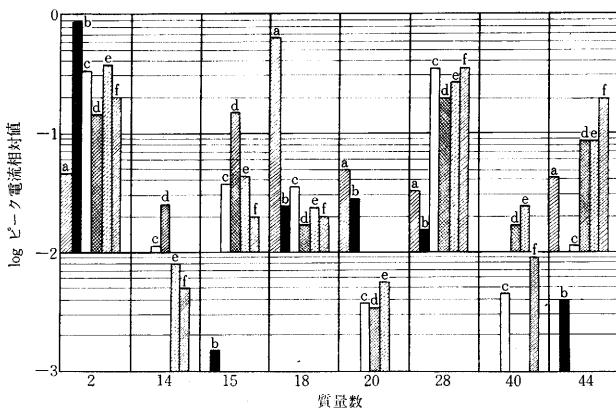


図6(c) 極高真空排気系の各排気段階における残留ガス成分の割合

が図 6 (c) である。ここに示した成分は残留ガス中の主要なもののみで、質量数 2 は水素、14 は窒素とメタンのフラグメント、15 はメタン、18 は水、20 は Ne、28 は窒素と CO であるが、この場合は 14 の大きさと比較して大部分が CO である。また 40 は A、44 は炭酸ガスである。そして各値はピーク電流値を全電流値（これは圧力に比例する）に対する比で示してあるので、定性的に各成分の存在比を表わすと考えてよい。これでただちにわかることは、このような金属製極高真空装置では主要な残留ガス成分は水素とメタンおよび CO、CO₂ であること、メタンは Sub-P のフラッシュでとくに多量に発生するが、それを液体窒素で冷却することによって%程度に減少すること、水は加熱脱ガスによって著しく減少すること、CO、CO₂ は極高真空になるほど相対的に増加すること等である。

これらのガスの生成や減少の機構を解明することは極高真空技術の開発にとってきわめて大切なことであるが、本稿の目的ではないので、ここではただ事実を紹介するに止めておく。

4. む す び

超高真空技術が開発されて、清浄表面と見なされる表面を数十分～数時間保持できるようになって、表面物理化学は飛躍的な進歩をとげた。<10⁻¹⁰ Torr の極高真空はまだ現在では実用の域というわけにはゆかない。しかし CERN ではプロトンの storage ring 加速器ではビームを衝突させる箱を 10⁻¹¹Torr にする目標で建設が始まっているし、人工衛星技術ではとくに摩擦摩耗の問題に関連して宇宙空間と同様な真空、すなわち極高真空中での実験を必要としている。極高真空が超高真空でいかに実用になるのはいまや時間の問題である。

(1968 年 8 月 19 日受理)

文 献

1) P. A. Anderson: Phys. Rev. **57** (1940) 122.

2) W. B. Nottingham: Phys. Rev. **55** (1939) 203.
 3) W. B. Nottingham: Conference on Physical Electronics, 1947.
 4) R. T. Bayard and D. Alpert: Rev. Sci. Instr. **21** (1950) 571.
 5) A. Klopfer: Trans. A. V. S. Natl. Conf. on Vac. Tech. **8** (1962) 439.
 6) J. M. Lafferty: Trans. A. V. S. Natl. Conf. on Vac. Tech. **7** (1961) 97.
 7) W. G. Mourad, T. Pauly and R. G. Herb: Rev. Sci. Instr. **35** (1964) 661.
 8) A. Venema and M. Bandringa: Philips Tech. Rev. **20** (1958) 145.
 9) A. Van Oostrom: Trans. A. V. S. Natl. Conf. on Vac. Tech. **8** (1962) 443.
 10) W. C. Schuemann: Rev. Sci. Instr. **34** (1963) 700.
 11) P. A. Redhead: Rev. Sci. Instr. **31** (1960) 343.
 12) P. A. Redhead: Brit. J. appl. Phys. **16** (1965) 1555.
 13) W. J. Lange and J. H. Singleton: J. Vac. Sci. Tech. **3** (1966) 319.
 14) P. A. Redhead: J. Vac. Sci. Tech. **4** (1967) 57.
 15) G. Appelt: Vakuu-Tech. **11** (1962) 174.
 16) P. A. Redhead: Vacuum **12** (1962) 267, Vacuum **13** (1963) 253, Canad. J. Phys. **42** (1964) 886.
 17) P. A. Redhead: J. Vac. Sci. Tech. **3** (1966) 173
 18) 金, 富永: 第 9 回真空連合講演会 (1968) 発表予定
 19) W. J. Lange and J. H. Singleton: J. Vac. Sci. Tech. **3** (1966) 319.
 20) 岡田, 辻: 第 9 回真空連合講演会 (1968) 発表予定
 21) P. A. Redhead: Canad. J. Phys. **37** (1959) 1260.
 22) W. Kreisman: RCA Tech. Rept. No. 64-8-N (1964), No. 64-17-N (1964).
 23) J. R. Young and F. P. Hession: 1963 (10th) Vac. Symp. Trans. (1964) 234.
 24) D. Pelz and G. Newton: J. Vac. Sci. Tech. **4** (1967) 239.
 25) C. Hayashi: J. Vac. Sci. Tech. **3** (1966) 286.
 26) J. P. Hobson: J. Vac. Sci. Tech. **1** (1964) 1.
 27) P. J. Brayant, C. M. Gosselin and L. H. Taylor: NASA Contract No. NASR-63(06)
 28) R. Calder and G. Lewin: Brit. J. appl. Phys. **18** (1967) 1459.
 29) H. Kumagai: Trans. A. V. S. Natl. Conf. on Vac. Tech. **8** (1962) 327.
 30) 木下, 富永: 第 9 回真空連合講演会 (1968) 発表予定

次 号 予 告 (11 月号)

研究解説

高結合圧電セラミックの測定法……………尾上 守夫

くりかえしレンズによるレーザ・ビーム伝送……………藤井 洋一
 白石 敏
 伊藤 孝雄
 三好 正美

試験溶鋳炉の送風限界試験について……………中根 千富
 桑野 芳一
 鈴木 吉哉
 金 鉄祐

銅粉の還元析出……………阿部 照衛
 原 善四郎

研究速報

MOS 形 FET を用いた A-D 変換器……………森脇 義雄
 高羽 須雄
 西森 武弘

微小磁鋼片による鉄塔サージ特性の解析……………河村 達雄
 北條 準一
 大平 炬史

メスパワー効果による鉄アルミニウム合金の“K”状態の研究……………三島 良治
 石田 洋一
 加藤 正夫

金属大傾角結晶粒界構造の解析……………石田 洋一
 長谷川 隆

金属結晶粒界転位のパーガースベクトル……………石田 洋一
 プラズマジェットの冶金反応への応用 (1)……………石塚 隆一
 ——五酸化ニオブの炭素還元……………明石 和夫
 による炭化ニオブの生成……………江上 一郎

研究室紹介

浅原研究室……………浅原 照三