綜 説

真 空 分 析 計

道 島 正 美*

(昭和 37 年 11 月 8 日受理)

Vacuum Analyzer

Masami MICHIJIMA

(Kobe University of Mercantile Marine, Higashinada-ku, Kobe)

1. ま え が き

高真空中で、各種の真空装置をはたらかせる場合に、装置内のふんい気が真空にした目的に適した状態になっているかどうかは、一般には装置に附属した電離真空計などの示す情報、すなわち装置内の圧力・全圧一によって判断される。

この場合、電離真空計の指示は空気に対する感度校正曲線を用いて、いわゆる空気当量感度 Air Equivalent Sensitivity で換算して圧力の値をえるのが普通である。

したがって、高真空装置内の残留ガスの成分が空気の成分と異なったものであれば、このような換算の仕方によりえられた装置内の圧力値は実際の圧力値とはかなりちがってくるのが当然考えられる。極端な例をとると、装置内の気体が全部水素でおきかえられた時、その圧力を空気当量感度で換算してえると、それは実際の圧力の約半分に低くなる。

真空装置を大気圧から排気したとき、装置内の残留ガスの諸成分の変化の様子を示した第 1 図⁽¹⁾からも分るように、加熱しない真空装置の全圧が 10^{-5} Torr 以下になるともれがなければ空気の主成分である N_2 や O_2 は全圧の $1/100$ 以下に減少して、 H_2O が残留ガスの主成分を占めるようになる。

このようなことを考えると、高真空測定器として、気体分子の種類によって異なる感度をもつ電離真空計が専ら使用されていることが疑問に思われるかもしれない。この理由として、一般の高真空装置では装置内の残留ガス分子の平均自由行路が装置の大きさにくらべて十分大きいということ、すなわち残留ガス分子との衝突による散乱が非常に少ないということが真空にする第一条件で

第 1 図 真空装置内残留ガス排気曲線 (J. Blears)

ある場合が多いので、このような換算によってえられた圧力値がある程度意味があることがあげられよう。たとえば、加速器や蒸着装置では、荷電粒子や蒸着分子の残留ガス分子との衝突による散乱の影響の大小は、電離真空計で得られた圧力値の大小と関連して十分知ることが出来る。

しかし、残留ガス中のある成分の量が大きな影響をあたえるという場合には、全圧の大きさだけでは判定できにくくなり、電離真空計はあまり役に立たなくなる。

近年いろいろな分野で大きな問題を提供している蒸着

* 神戸商船大学 (神戸市東灘区本庄町深江)

薄膜をつくる際に、不純物の種類や量によって許しうる不純物の限界が変ってくるのが知られている。たとえば、H. L. Caswell⁽²⁾によると普通の高真空中と超高真空中とでそれぞれ蒸着したインジウムの薄膜は異なった性質を持ち、その特性の変化は残留ガス中の O_2 によってほとんどきまるといわれる。このことから、 10^{-9} Torr 以下の圧力で普通みられる完全な状態のインジウム薄膜は、十分酸素分圧を低くするように気をつければ、 10^{-5} Torr という高い全圧中でつくれることになり、その作業が著しく簡単になる。

また、核融合の実験では、残留ガス分子と電子の衝突によるプラズマのエネルギー損失が問題となり、それは気体分子の原子番号を Z とすると Z^2 に比例するといわれる。したがって、真空計でえられた全圧が同じでも、CO や Hg のような重い分子が多く含まれていると、その影響は著しく現われてくる⁽³⁾。

このような例でも明かなように、問題になるのはもはや全圧 (Total pressure) ではなくて、分圧 (Partial pressure) である。最近、急激に発展した超高真空技術により、超高真空中における蒸着薄膜の作製、清浄な固体表面の研究、また長寿命電子管製作の工程管理や宇宙模擬空間における研究など広範囲の分野で、問題にしている対称をつつむふんい気が、どのような成分から構成されているかという、いわゆる「真空の質と量」に関する情報をもたずに適確な作業を行なうことは困難になりつつある。

ここにいたり、新しい真空技術の分野での圧力計としては、従来あいまいに全圧を測定していた真空計は補助的な地位に移り、新たに分圧測定器として真空分析計 (Vacuum Analyzer) が主動的な地位を占める日も遠くないと思われる。1953年、超高真空計を考え、超高真空技術開発の先駆者である D. Alpert が、Sommer ら⁽⁴⁾が既に発表していたオメガトロンを簡易化して超高真空分析計を試作⁽⁵⁾、1954年超高真空の到達限界の研究のいと口をつけた過程は、今後の真空技術の動向の一つを示唆するものとして興味深い。

Alpert の発表以来、 10^{-9} Torr 以下の高真空、超高真空領域で真空分析計を用いた研究は年々急激に増加しつつある状況で、今後益々開発、使用されることが予想される。真空分析計については、本誌でも1960年 AVS 第7回シンポジウム論文集中「分圧測定」の項で一部紹介されている⁽⁶⁾が、本文では現在までに発表、使用されている代表的な分析計についてその大要を紹介し、1962年の第2回国際真空会議などで報告された資料をそれぞれの項にそえることにした。

2. 真空分析計

真空の分析計はその使用目的によって二つに大別されよう。その一つは、真空機器・管路内の残留ガス分析、真空材料からの放出ガス分析、あるいは試料ガス分析などを目的とするもの、もう一つは超高真空技術の基礎的研究を目的としたものである。

前者は、真空分析計の最も活用されるべき分野で、従来の真空計のように将来普通に用いられ、真空工業でもプロセス・モニターとして欠くことのできないものになるであろう。この種の分析計として、備えたい条件として、次の諸項が考えられる。

- (a) 小容量、軽量、簡易堅牢な構造をもち、被測定系に容易に直結して電離真空計と同程度に使用できること。
- (b) 全体を少くとも約 400°C に、くりかえし長期加熱できること。
- (c) 分析計自体を 10^{-10} Torr 以下の超高真空中に排気でき、そのバックグラウンドが極めて低いこと。
- (d) 分析範囲 M/e (M は質量数、 e は電荷) $=1(\text{H}^+) \sim 44(\text{CO}_2^+)$ 、分解能 50、また分析計は 10^{-4} Torr より連続的に各成分を 10 %以下の精度で分析でき、最小検出可能分圧 1×10^{-10} Torr 以下であること。
- (e) 動作特性が安定で再現性が大きく、調整取扱が容易であること。
- (f) オツシロスコープを用い、直視、高速度分析ができること。
- (g) 附属装置を含めて分析計全体がコンパクトで、軽便かつ低廉なこと。

このような諸条件を十分満していないが、前者に属して現在まで開発されているものに、磁場偏向型分析計、オメガトロン、ベネット型高周波分析計、トバトロソファビトロン、マス・フィルターがある。

後者は、超高真空の限界を追求し、超高真空作製の基礎的技術を確立するために不可欠のものと思われ、高分解能 (100以上)、高精度 (数%以下)、高感度 (最小検出可能分圧 1×10^{-13} Torr 以下) を少なくとも必要としそのために前者より少し大型、複雑化しても止むをえないと思われる。この目的には、磁場偏向型質量分析計を超高真空中に設計し、高感度を得るためにイオン電流測定用二次電子増倍管を装着したものが開発されている。

このように、現在高真空あるいは超高真空中として使用できる真空分析計として、開発使用されているものはすべて、気体分子イオンの M/e (質量数/電荷) のちがいを利用して、各気体分子の混合比を求める質量分析計を転用したものである。次に、これらの真空分析計の原

第2図 磁場偏向型分析計 (A: イオン源、C: イオン・コレクター、r: イオン軌道半径)

理、構造およびそれによって得られた比較的良好と思われる分析結果を中心にする。

2.1 磁場偏向型分析計

この型の分析計は、従来広く使用されている質量分析計を適当に真空分析計に設計しなおしたもので「クラシックな型」ともいわれているものである。

したがって、その原理は従来の質量分析計と同じで、イオン源でつくられた気体分子のイオン (質量数 M 、電荷 e) が V ボルトの加速を受けて、イオンの運動方向と直角方向に B ガウスの磁束密度をもつ磁極間に入ると、

$$M/e = 4.82 \times 10^{-5} \cdot r^2 B^2 / V \dots \dots \dots (1)$$

で表わされる関係にしたがって、軌道半径 r cm の円をえがいて偏向し、一点に収束する。(1)式からも明らかに、イオン軌道半径 r が一定である場合、イオン加速電圧 V を一定にして磁束密度 B を連続的に変えるか (磁気走査 Magnetic Scanning) 磁束密度 B を一定にして加速電圧 V を変えるか (電気走査 Electric Scanning) すれば、異なった M/e のイオンがつつぎにイオンコレクターに入り、いわゆる質量スペクトルが得られる。このスペクトルにあらわれたイオン・ピークの高さから適当な計算により、各気体成分の分圧が求まるわけである。

第2図にこの型に属する代表的な四種をあげた。(A)、(B)、(C)はそれぞれ偏向角のちがいににより60°型、90°型、180°型とよばれる扇型分析計である。このうち60°型は J. H. Reynolds が地質年代決定のための極微試料分析用として開発した質量分析計⁽⁷⁾ (ガラス製、軌道半径 4.5", イオン増倍管により 1×10^{-13} Torr の分圧測定可能) をそのまま真空分析計として用い、Octoil S を用いた油拡散ポンプ系による超高真空装置内の残留ガスを分析して、その主成分が H_2 と CO であることを報告した W. H. Huber らのもの⁽⁸⁾ が目ぼしいもので、小

第3図 CO^+ 同位体のオツシロスコープによる観測 (全圧: 6×10^{-8} Torr, 掃引速度: 3m sec/ $M/e=29 \sim 30$)

第4図 パイレクス系における残留ガス・スペクトル (全圧: 1×10^{-8} Torr, 掃引速度: 3.5 分)

第5図 Oil free な金属製超高真空装置における残留ガス・スペクトル (全圧: 5.5×10^{-9} Torr)

型のものはみうけられないようである。しかし、A. O. Nier や J. H. Reynolds らによって現在行なわれているロケットにのせる大気上層成分分析用小型質量分析計 (軌道半径 2" または 2.25") の開発が進めば、これを

第6図 サイクロイド型分析計の分解能を示すスペクトル(A)および大きな質量範囲のスペクトル(B)

高性能真空分析計として転用することが期待される。

90°型として最近注目されているものは、1960年、W. D. Davis らによって発表され⁽⁸⁾、1961年、G. E. 社から G. E. Partial Pressure Analyzer Model 514 として市販されたものであろう。分析管は、金属—ガラス製、軌道半径 5cm、10段イオン増倍管をもち 450°C まで加熱できる。分析管は被測定系に直結し、425°C の加熱で自体は 10^{-10} Torr にでき、検出感度は室温で 10^{-1} Torr、分解能約 150、直流加速電圧に鋸歯状電圧を重ねて、 $M/e=28$ で単位質量あたり 1.5 μ sec の高速度走査を行ないオツシロスコープ上に直視可能である。第3図に Davis らの観測例を、第4図に市販品による測定例を示した。市販品は容量約 400cc、3000 ガウスの永久磁石を使用し、 10^{-5} Torr の全圧まで操作でき、 10^{-12} ~ 10^{-13} Torr の分圧が検出可能といわれるが、第4図にも見られるように Davis らの報告にくらべて特性はやや劣るようである。

180°型の代表的なものは C. E. C. で Diatron 20 という名で市販されているもので、これを使用して残留ガス分析をした例は多い。軌道半径 1cm、3900 ガウスの永久磁石をもち、分析部は 450°C まで加熱できる。分圧感度 1×10^{-9} Torr、分解能 20、分析範囲 $M/e=2 \sim 80$ 、 10^{-4} ~ 10^{-9} Torr である。分析計は金属製であるが R. E. Honig のようにこれをガラス封じしたものもある⁽⁹⁾。蒸着薄膜作製のためにつくられた残留油蒸気の少ない超高真空装置内の残留ガスを、Diatron 20 を使って分析した H. L. Caswell の例を第5図⁽¹⁰⁾に示した。

また、最近 L. Noble らがクライストロンを 350時間ほたらかした後えた全圧 4×10^{-9} Torr の残留ガスを分析して第5図に似たスペクトルを示した⁽¹¹⁾。

(D)は上述の3種類のものとは異なり、磁場に重ねて、それに直交する静電場を用いたもので、サイクロイド型分析計とよばれるものである。これは一種の完全収束型質量分析計で小型の割合に分解能と感度の大きいことが特長で、磁界中のイオン軌道がサイクロイドになるのでこの名がある。磁束密度 B 、電場の強さ E と質量数との間には(1)式に似た関係がある。

$$M/e = K X_f \frac{B^2}{E} \quad (2)$$

ただし、 X_f はイオン源からコレクターまでの距離である。

この型の分析計は前述の三者に比較して、すぐれた特性をもっているが、比較的大型の磁石を必要としその構造がやや複雑なため幾分散違されている点がある。W. H. Huber らは超高真空系用質量分析計として、この型の試作研究を行ない小型高性能のものを発表した⁽¹²⁾。金属製、 $X_f=40$ mm、 B (最高) = 5000 ガウス、分析範囲 $M/e=1 \sim 500$ (ただし $M/e=100$ 以上は感度は少しづつ減少し、500 で約半分になる) 試料ガスとしてアルゴンを用いた時のバックグラウンドによる限界は分圧にして 1×10^{-12} Torr、したがって全圧 10^{-10} Torr の超高真空装置内の残留ガス分圧を 10^{-12} Torr の程度までイオン増倍管などを使用せず測定できる。このような小型分析計で、高分解能をもち、また高質量のものまで測定できることを第6図に示した。分析計は 200°C 程度まで加熱された。

彼らはこれを用いて、装置内の油蒸気スペクトルの特徴を、分析計の陰極 (W および LaB_6) 温度などに関連してしらべている。

最近、地質年代測定のための極微量試料分析用質量分析計の開発が強力に進められており、大型のものが多く、250°~450°C に加熱でき、 10^{-10} Torr 以下に排気され、 10^{-14} ~ 10^{-5} cm³ STP の稀ガスを精密に定量できる分析計も各所にできつつある⁽¹³⁾、これらに用いられた各種の技術は、今後高性能真空分析計を試作する際に役立つであろう。

2.2 オメガトロロン

1951年 J. A. Hipple およびその協力者により、サイクロトロン共振によって e/M の精密測定を行なう目的でつくられたサイクロトロン共振型質量分析計⁽⁴⁾は、外から加える高周波の角周波数 ω でイオンを共振させて検出するというのでオメガトロロンとなづけられた。

これに注目した Alpert は、1954 年簡易化した箱型

第7図 オメガトロンおよびその回路 (A. Klopfer)

第8図 オメガトロンによる残留ガス分析

オメガトロンを試作⁽⁵⁾して超高真空分析に成功した。これに刺激されて、その後多くの研究者により Hipple らの原型をいろいろと変形したものがつくられ、この5～6年の間最もよく活用されている真空分析計であろう。1956年からこれを電子管内残留ガス分析に用いて多くの有用な結果を出している Philips 社の A. Klopfer らのオメガトロンについてその原理をのべよう。

第7図に4枚のガードリングをもった箱型のオメガトロンの構成と回路を示した。陰極 K から小孔を通して分析室に磁場方向に入った電子流により気体は電離される。磁場に直角の方向におかれた二枚の平行板電極 RF, A に加えられた高周波電圧の周波数 f を変えていくと、それが生成したイオンのサイクロトロン周波数 $\omega_c = \frac{eB}{M}$

に一致した時、そのイオンだけが共振をおこしてアルキメデス螺旋線をえがいて加速されながら次第に軌道を大きくしてやがて、イオンコレクターに達する。磁束密度を B 、イオンの質量数を M 、電荷を e とすると、共振周波数 f_0 は

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{eB}{M} \quad (3)$$

で与えられる。また分解能 ρ は次式で与えられる。

$$\rho = \frac{M}{\Delta M} = \frac{eR_0B^2}{2ME} \quad (4)$$

ただし、 R_0 は中心軸からイオン・コレクターまでの距離、 E は加えられた高周波電場の強さである。(4)式から分るように、軽い分子ほど分解能が大きいの、比較的軽分子を対称とする真空分析計としては、小型にでき具合がよい。

オメガトロンの特徴として、(1)小容量 (100cc 程度)、(2)ガス出しが容易 (400°C に加熱可能) (3)分析範囲 $M/e=1\sim100$ 、分解能 30～50、(4)使用範囲 $10^{-5}\sim10^{-10}$ Torr 検出限界約 1×10^{-10} Torr、定量性約 10% などがあげられる。管球構造なので真空計同様に取扱える有利さはあるが、やや高性能磁石を使用すること、調整に問題点があり、再現性がとばしいこと、その他動作特性で未だ不明の点が少ない。しかしこれらの諸点は多くの研究者により、次第に明らかにされつつあるので、ここ数年後にその地位がきまらるであろう。

第8図に Klopfer らがバリウムゲッターで排気した封じ切り真空系内の残留ガスを分析した例⁽¹⁴⁾を示した。一般によく使用されているのは、このような型であるが Warnecke らのような構造は複雑になるが、やや性能のよいものも一部現われている⁽¹⁵⁾。 $(R_0=10\text{mm}, B=2820 \text{ ガウス}, \text{分解能} \sim 44 (\text{CO}_2^+), \text{分析範囲 } M/e=1\sim100, \text{検出感度 } 5\times10^{-11} \text{ Torr}(\Delta r))$

2.3 ベネット型分析計

1950年、W. H. Bennett が発表した高周波型質量分析計⁽¹⁶⁾を原型としており、第9図で示した基本的な一段 (Single stage) の電極構造のものでその原理を述べよう。

イオン源 I.S. から G_3 までの電極は平行平面グリッ

第9図 ベネット型分析計の原理

より成る。等間隔 S cm でおかれた G_1 , G_2 , および G_3 の電極は直流的に同電位で、 G_2 には更に高周波電圧 $\bar{e} = V_{rf} \sin \omega t$ が重畳されて、イオンに作用する高周波電場領域がつくられる。(I.S.)内に生成された気体分子のイオンは、 V_A ボルトだけ加速されて G_1 に入る。このイオンが G_1 から G_2 につくまでは $\bar{e}$ が負で、イオンが G_2 を通過する時に丁度 $\bar{e}$ が負から正にうつるといふ位相関係を満すように高周波電場を選んでおけば、イオンは G_1 から G_2 に向って加速され、正のエネルギー利得をえることになる。

Bennett によると、 G_1 から G_3 までのイオン走向時間が高周波の 0.74 サイクルに等しい時に、その利得は最大になり、この最適条件のもとでは、イオンの質量数 M と高周波電圧の周波数 f (サイクル/秒) との間には次の関係がある。

$$M = \frac{0.266 \times 10^{12} V_A}{S^2 f^2} \quad (5)$$

ただし、 V_A は加速電圧 (ボルト)、 S は cm 単位を用いる。

G_4 には I.S. よりも V_B ボルトだけ高い電位が与えられており、上述の最適条件でエネルギーを得たイオンだけが電位の山をこえてイオンコレクター I.C. に入り、他のイオンは追いつもどされる。(5)式で分るように、周波数あるいは加速電圧を連続的に変えると、質量スペクトルがえられる。

実際には、第9図のような一段の構造では分解能が極めて低く、1~2程度である。したがって分析計として分解能を高めるために、これを数段配列する。また、各段間隔は最適イオンが高周波グリッドから次の高周波グリッドまで走向するに要する時間が、高周波の周期の整数倍になるように、すなわち各段で最大のエネルギー利得のえられるように設計し、さらにゴーストの出にくいように各各段間の間隔のとりかたを適当にかえたりする工夫がある。

ベネット型の代表例として、J. W. Townsend が上層大気成分を分析するためにロケットで打ち上げた3段のもの構造、回路を第10図に、また室内空気とったスペクトルを第11図に示した。測定は電圧掃引で行なわれ、-25Vから-250Vまで毎秒1回の割合である。分

第10図 7-5 サイクル3段ベネット型分析計およびその回路 (J. W. Townsend)

第11図 ペネット型分析計による大気分析

第12図 トパトロンの構造、電位分布および回路 (P. F. Varadi)

解能は25となるような条件にえらばれた。

ペネット型の特徴として (1)磁石が不用 (2)比較的小容積(約 400cc)で管球型 (3)面倒な調整をあまり要せず、オシロスコープによる質量スペクトル観測ができ、高速計測が可能 (4) 1×10^{-4} Torr 以下の圧力範囲で操作でき、検出可能分圧 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ Torr、などがあげられよう。ただし、管球製作はオメガトロンに比して面倒であり、また3段程度では分解能も悪く、ゴーストなどが表われることもあり、未だ問題は残されている。

2.4 トパトロン

1952年、P. A. Redhead によって提案された高周波型質量分析計⁽¹⁸⁾で、さらに P. F. Varadi ら⁽¹⁹⁾によって強力に開発されたので、Redhead-Varadi 型ともいわれているが、一本の分析計で全圧 (Total pressure) と

分圧 (partial pressure) とが同時にはかれるとあるので、Topatron と名づけられた。その原理構造、回路を第12図にまとめて示した⁽²⁰⁾。

イオン源 I.S. で生成されたイオンは右側の分析部に送られ、まず電極 T に捕集されたイオン電流で全圧が分る。さらに右側の等間隔におかれた $(2N+1)$ 箇のグリッドからなる質量選別部 (Sorting Structure) S. G. を通過するときここに加えられた高周波電圧の位相との関係により加速されるが、減速されるかする。このことは、前にベネット型の原理でのべた一段の電極群がこの場合の3枚一組の電極と考えればすぐ了解されよう。加速されたイオンのみが、追いつき電極 R. G. に加えられた大きな正の電位の山をこえて分圧測定電極 P に達する。質量数 M と高周波電圧の周波数 f (Mc/sec) との間には次の関係がある。

$$M = \frac{k}{f^2} \quad (6)$$

ただし、 k は常数である。トパトロンは電離真空計と真空分析計を一本の管球の中に共有している構造であり、真空計部で全圧をはかりつつ同時に分析部に加えた周波数を連続的に変化させて分圧を測定するものである。

トパトロンは、ペネット型と大体似た特徴をもっているが、(1)操作がより簡易である (2)全圧と分圧を同じイオン流から同時にはかれる (3) 5×10^{-4} Torr から 10^{-8} Torr 以下まで直線的関係

第13図 トパトロンによるメタンの分析 (CH_4 全圧: 3×10^{-5} Torr, 掃引速度: 10秒/ $M/e = 11 \sim 23$)

第14図 ファビトロンの構造、電位分布およびその回路構成 (G. Reich)

第15図 ファビトロンの電離真空計の点火時の放出ガス分析 (全圧: 5×10^{-8} Torr、フィラメント冷却時間: 1 分)

が成立する (4) 手動走査の時、分解能 60、1 分走査 ($M=10-70$) で 30、感度 10^{-5} A/Torr など比較してややすぐれているといわれる。

トバトロンの質量スペクトル例を第 13 図に示した⁽²⁰⁾。Varadi はこれを使って真空管材料のガス放出や

管球の工程管理に活用して成果をあげていることは注目される。

2.5 ファビトロン

ファビトロンは 1959 年 W. Tretner により出された電場だけを用いたイオン共振型質量分析計⁽²¹⁾である。その電極構成、電位分布、および回路構成を第 14 図に示した⁽²²⁾。

K はヘアピン型フィラメント、W は電子流制御グリッド。A 内で生成された質量数 M 、電荷 e のイオンは図に示されたようなほぼ抛物線電場 $\phi(x)$ により、A とイオンコレクター S との間を管軸に沿って何回か振動させられるが、その振動周波数 f は次式で与えられる。

$$f = C \sqrt{\frac{e}{m} U} \quad (7)$$

ただし、 C は分析計の定数、 U は最大の電位差である。そこで、A にかけた直流電圧に低い高周波電圧を重量させ、このイオンの振動周波数 f と同じ周期でイオン化電子流の強さを変調すると、イオン数は次第に増加して分析管内に振動電荷雲を生成する。これが S に変位電流を誘導し、これがとりもなおさず分圧を指示することになる。したがって、イオン化電子流の変調周波数を変えて走査すると、異なった質量をもつイオンが検出できる。

これによりオツシロスコープで得られた質量スペクトル像を第 25 図に示す。ファビトロンの特徴としては (1) 小容量 (直径 1", 長さ 4") 電子管形式 (2) 分析範囲 $M/e=2-250$ 、 1×10^{-4} Torr $\sim 1 \times 10^{-9}$ Torr、(3) 操作が簡単で、直視的、高速走査可能、などがあげられる。しかし分解能は 20 位で悪く、イオンピークにハーモニクスが表われたりして、スペクトルはあまりよくない。イオンポンプの排気現象、放出ガス分析、もれ検出などに用いられた。

2.6 マス・フィルター

Electric Mass Filter として、1955 年 W. Pawl らによって発表された磁場を用いない高周波型質量分析計⁽²³⁾で、その構造を第 16 図に示した。

イオン源 I. S. を出たイオンは入口の孔 O を通って、分析室に入る。分析室は、円形断面をもつ 4 本の円柱よりなり、これに $U + V \cos \omega t$ なる電圧が加えられる。これによって生じた双曲線電場の中で、特定の値 $\lambda_0 = U/V$ で、ある M/e のイオンだけが、軸のまわりに安定な振動を行ない、出口の孔 O' を通ってコ

第16図 マス・フィルターの構造

第17図 マス・フィルターによる質量スペクトル

- A : 冷媒ガス ($r_0=0.4\text{cm}$)
 B : 全圧 $=1\times 10^{-4}\text{Torr}$ ($r_0=0.4\text{cm}$)
 C : 全圧 $=3\times 10^{-3}\text{Torr}$ ($r_0=0.4\text{cm}$)

レクターに達する。 V と U または ω を変えることにより

$$M=C \frac{V}{\omega^2 r_0^2} \quad (8)$$

の関係にしたがって異なった質量のイオンがコレクターに入り、質量スペクトルがえられる。ここに、 C は定数 $2r_0$ は円柱間の間隔である。

K. G. Günther らによってえられた冷媒ガスのスペクトルを第17図⁽²⁴⁾に示した。分析部の円柱の長さは 18cm 、 r_0 は 0.3 , 0.4 、および 0.6cm にえられた。分析計は、 $5\times 10^{-3}\text{Torr}$ から 10^{-10}Torr の範囲で使用され、分析範囲は $M/e=1\sim 200$ 、分解能は約 100 である。

この分析計の特徴は (1)磁石不用 (2)構造が簡単 (3)印加電圧が高いので汚れによる接触電位差の変化など無視される (4)比較的高分解能をもつ (5)使用圧力範囲が広いことなどがあるが、工作精度、電源関係などに問題がみられる。しかし、Günther らの結果に見られる如く、すぐれた特性をもっているため、今後さらに開発され使用されるものでないかと予想される。

3. あとがき

Blears や Alpert によって高真空または超高真空の分

析が行なわれてから、未だ 10 年たらずであるが、特にこの $5\sim 6$ 年間の真空分析計の開発と応用は注目すべきものがある。しかし、上述の如く各分析計はそれぞれ長所、短所を合せもち、はじめに述べたような理想的なものはまだみられない現状である。したがって今後、従来の真空計同様に手軽に分圧を測定でき、その分圧の和として装置内の全圧を求めることの出来る高性能真空分析計の出現の早いことが望まれる。現存のものでは磁石を使わない高周波型が有利で、二次電子増倍管をつけて分圧検出成度を高められる可能性をもつベネット型、トバトロン、あるいはマス・フィルターが期待されよう。また、超高真空領域の分析とは逆に 10^{-4}Torr 以上の低真空分析用の開発も考えてもよい問題であろう。

欧米では、真空分析計を工業的分野で積極的に活用しようという気配が最近可成強くなってきたように感じられるので、ここ数年後には相当一般化されるのではないかと思われる。ひるがえって、我が国の現状をみると、オメガトロンやベネット型の分析計自体に関する開発研究を一部脱却して、その応用を手がけたという段階で外国に比してかなりおくれているように考えられる。

今後の真空技術の分野の発展に、真空分析計の貢献するところは、年々急速に増大していくものと思われるので、本文によりいささかでもこの方面の開発、応用に関心をもち今後の我が国の真空技術の発展に寄与される方ができれば、筆者の幸とするところである。

本文をかくにあたり、高周波型分析計に関する資料を多くお世話下さった大阪市立大学兼松太助教授に深く感謝致します。

〔文 献〕

- (1) J. Blears : *Vacuum Physics* (J. S. I. Suppl. No. 1), 36 (1951)
- (2) H. L. Caswell : *IBM, Research Report, Rc 426*, March (1961)
- (3) W. K. Huber and E. A. Trendelenburg : 1959 Vacuum Symposium Transaction, p. 146, Pergamon Press (1960)
- (4) H. Sommer, N. A. Thomas and J. A. Hipple : *Phys. Rev.* 82, 697 (1951)
- (5) D. Alpert and R. S. Buritz : *J. App. Phys.* 25, 202 (1954)
- (6) 川崎弘司、杉田利男 : *真空* 5, 167 (1962)
- (7) J. H. Reynolds : *Rev. Sci. Instr.* 27, 928 (1956)
- (8) W. D. Davis and T. A. Vanderslice : 1960

- Vacuum Symposium Transactions, p.417, Pergamon Press (1961)
- (9) R. E. Honig : 1959 Vacuum Symposium Transactions, p.20, Pergamon Press (1960)
- (10) H. L. Caswell : *ibid*, p.66
- (11) L. Noble and R. K. Waits : 1961 Transactions of the Eighth Vacuum Symposium and Second International Congress, p.606, Pergamon Press (1962)
- (12) W. K. Huber and E. A. Trendelenburg : *ibid*, p.592
- (13) L. F. Herzog, T. J. Eskew and R. L. Erwin : *ibid*, p.581
- (14) A. Klopfer, S. Garbe and W. Schmidt : 1959 Vacuum Symposium Transactions, p.27, Pergamon Press (1960)
- (15) D. Charles and R. J. Warnecke, Jr. : *ibid*, p.34
- (16) W. H. Bennett : *J. Appl. Phys.* 21, 143 (1950)
- (17) J. W. Townsend, Jr. : *Rev. Sci. Instr.* 23, 53 (1952)
- J. W. Townsend Jr., E. B. Meadon and E. C. Pressley : *Rocket Exploration of the Upper Atmosphere*, p.169, Pergamon Press (1954)
- (18) P. A. Redhead : *Canad. J. Phys.* 30, 1(1952)
- (19) P. F. Varadi, L. G. Sebestyen and E. Rieger : *Vakuum Technik*, 7, 13 and 46 (1958)
- (20) P. F. Varadi : 1960 Vacuum Symposium Transactions, p.396, Pergamon Press (1961)
- (21) W. Tretnar : *Z. Angew. Phys.* 11, 395 (1959)
- (22) G. Reich : 1960 Vacuum Symposium Transactions, p.396, Pergamon Press (1961)
- (23) W. Pawl and M. Raether : *Z. f. Phys.* 140, 262 (1955)
- (24) K. G. Günther and W. H. Hänleim : 1961 Transactions of the Eighth Vacuum Symposium and Second International Congress, p.573, Pergamon Press (1962)

合本用ファイルをご利用下さい

ピン1本で簡単に、そして美しく、1カ年分を合本出来る独特のものです。
書棚を飾るにも、本誌の整理にも、是非必要なファイル。

頒価 1部 150円 送料 60円

お申込み先

東京都中央区日本橋兜町3の5三共ビル内(旧米山ビル)

真空協会合本係

電話 4327番