

京都大学納 同位元素電磁分離装置

Electromagnetic Isotope Separator of Kyoto University

植本 尚* 曾根田瑞夫** 近藤弥太郎*
 Takashi Tsuchimoto Mitsuo Soneda Yataro Kondo
 斎藤清吉* 高橋昭吉** 斎藤 操*
 Seikichi Saito Syokichi Takahashi Misao Saito

内 容 梗 概

同位元素電磁分離装置は質量分析計の原理を応用して、元素をおのおのその構成同位元素に分離し採取する装置である。京都大学に納入した本装置はわが国最初の本格的な分離装置であつて、1956年秋にその運転を開始し現在その調整を終え、一、二の試料について原子核実験用ターゲットの製作を開始している。本報告はその装置の大要および調整実験結果について報じたものである。現在までに得られた最大コレクタ電流はビームシャッタ全開時において、マグネシウム試料にて10mAに到達しており、また一方分解能1/140を得ている。

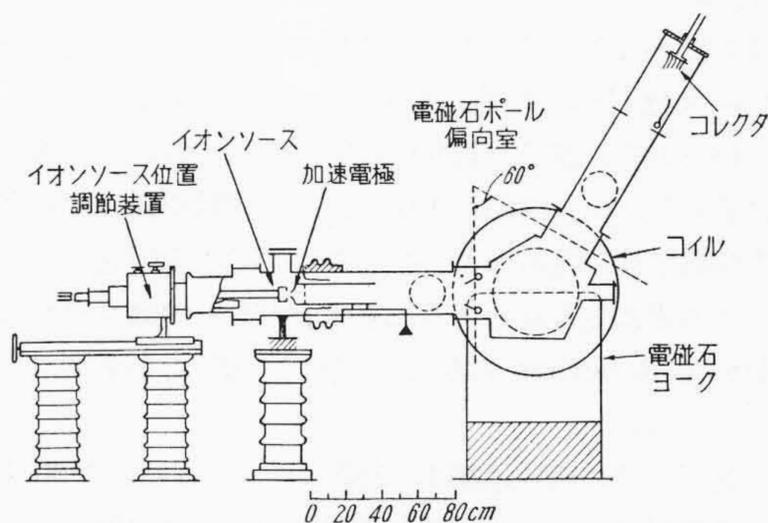
〔I〕 緒 言

物理学の研究、主として原子核物理学、物性物理学、および光学研究用光源、トレーサ、原子力工業など各方面の研究に使用する元素としてそれぞれの同位元素に分離された単一質量数の元素が必要である。この同位元素の分離方法には現在実用化されているものとして熱拡散による分離法および電磁的に行う分離法の二つがあり、収量の点では前者が有利であるが純度や簡易さの点では後者がすぐれている。したがつて目的に応じてそれぞれの特長を活かした方法が選ばれるが、少量で足り、迅速高純度を必要とする各種の同位元素を分離するには質量分析計の原理を応用した後者の同位元素電磁分離装置 (Electromagnetic Isotope Separator or Mass Separator) が適している。

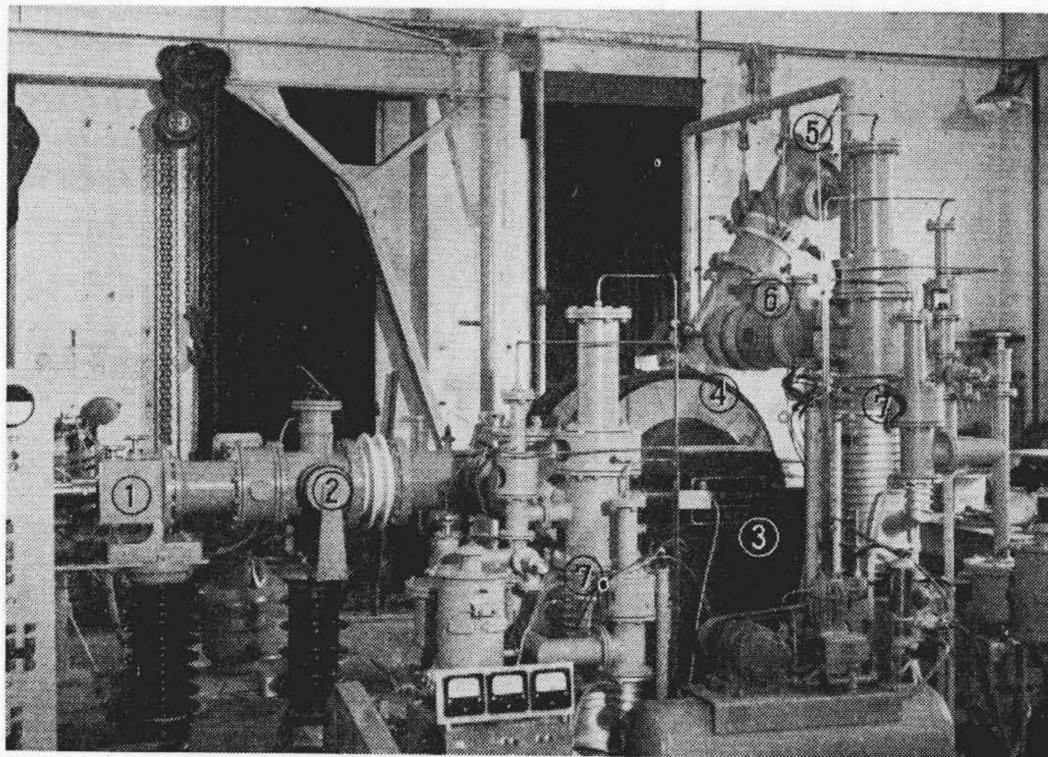
これに関する研究は第二次大戦前より行われてきたが⁽¹⁾⁽²⁾、急速なる発達は大戦中ならびに戦後に見られ、大戦中アメリカの Ork Ridge にて原子爆弾製造用として大規模な装置が建設、運転されたのを始めとして、戦後にはイギリスの Hawell や欧州各国に各種の分離装置が建設され諸種の研究分野に濃縮同位元素が供給されてきた。

日本においても戦後大阪大学や科学研究所でこの方面の研究が行われていたが、1956年秋京都大学に本格的な装置が、京都大学と日立製作所との共同研究のもとに製作、建設を完了し、運転を開始した。

* 日立製作所中央研究所
 ** 日立製作所日立工場



第1図 京都大学同位元素電磁分離装置縦断面図



① イオンソース位置調節装置 ② イオンソースマグネット
 ③ 電磁石ヨーク ④ 電磁石コイル ⑤ コレクタ
 ⑥ 8インチ液体空気トラップ ⑦ 8インチ拡散ポンプおよび空気動作バルブ

第2図 京都大学同位元素電磁分離装置本体写真

この報告は京都大学納入同位元素電磁分離装置 (以下単にセパレータと呼ぶ) についての概要と、二、三の元素についての運転成績および問題点について述べたもの

第 1 表 諸外国の中型同位元素電磁分離装置

| 所 属 | 運転開始(年度) | 電磁石の型(イオン偏向角) | 電磁石間隙(cm) | イオン軌道半径(cm) | 電磁石重量(t) | 最大磁場(ガウス) | 最大加速電圧(kV) | 文献 |
|--------|----------|---------------|-----------|-------------|----------|-----------|------------|---------|
| デンマーク | 1941 | 90° | 6 | 80 | 4.5 | 8,000 | 70 | (3) |
| スウェーデン | 1948 | 90° | 10.3 | 160 | 6.5 | 3,500 | 60 | (4) |
| オランダ | 1952 | 180° | 17 | 100 | 40 | 3,150 | 25 | (5) |
| フランス | 1952 | 60° | 6.6 | 50 | 5 | 12,000 | 35 | (6),(7) |
| 京都大学 | 1956 | 60° | 8 | 60 | 7 | 8,000 | 50 | |
| 原子核研究所 | 1957(予定) | 60° | 12 | 90 | 19 | 5,700 | 50 | |

である。

〔II〕 世界各国の現状および装置の原理

現在世界各地に建設されている同位元素電磁分離装置は、その規模よりいつて電流 100 mA 級の生産用大型装置と数 mA 級の中型装置に大別できるが、京都大学セパレータは目標の電流が数 mA で中型装置に属する。比較のためその諸元を諸外国の同程度の装置と共に第 1 表に示した。なお 1957 年度に納入、運転を開始する東京大学原子核研究所のセパレータの諸元をも附記した。

この表に見られるように京大セパレータはフランスにおいて R. Bernas らがよい能率を上げている型に準拠している。

装置全体の構成は第 1, 2 図に見られるごとく 60 度の扇形磁場をもつた縦型の装置で、その原理は質量分析計と同じくイオンソースで作られた試料元素の陽イオン(以下単にイオンと呼ぶ)を一定電圧で加速し、目標とする質量に応じた一定の磁場で 60 度だけ偏向させると、目的の同位元素のイオンが分離されコレクタ上に焦点を結ぶのでこれを採取するものである。

このように 60 度扇形磁場を対称的に使用する場合のイオン幾何光学的関係は質量分散を D 、二次収差を B とすると

$D = \gamma_0 \dots \dots \dots (1)$

$B = \alpha^2 \gamma_0 \dots \dots \dots (2)$

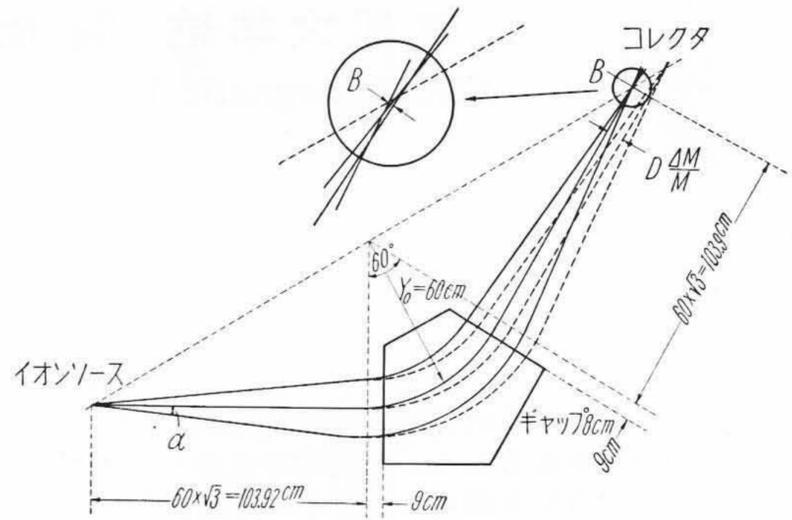
で与⁽⁸⁾えられる。

ここに γ_0 および α は第 3 図に示すごとく偏向軌道半径およびイオンソースより磁場に入るイオンビームの拡がりの半角である。

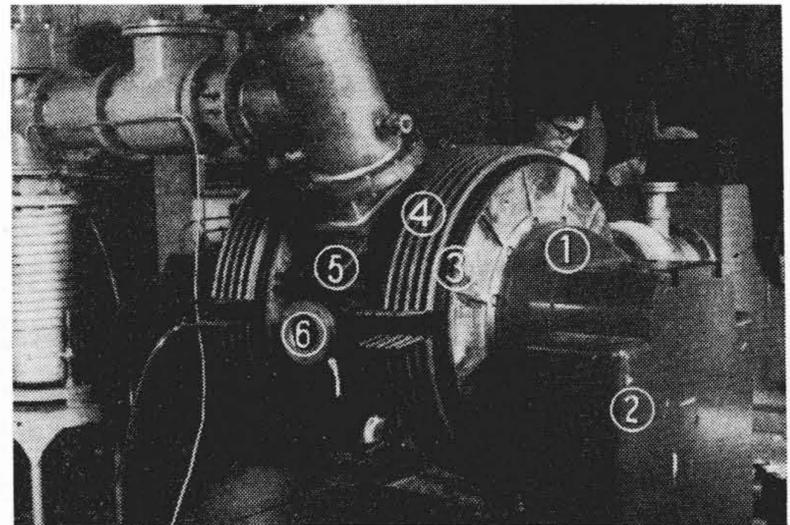
この装置の場合質量が M と $M + \Delta M$ との異なるイオンビームの像点における分離間隔は $D \frac{\Delta M}{M}$ であたえられ、今 $\Delta M = 1$ のときイオンの質量数を $M = A$ とすれば

$D \frac{\Delta M}{M} = D \frac{1}{A} = \frac{60}{A} \text{ (cm)} \dots \dots \dots (3)$

となり、 $A = 200$ (水銀) の場合で 3 mm の分離が可能となる。一方像のひろがりイオンソースのイオン引出スリットの幅に B を加えたものであるから、スリット



第 3 図 イオン幾何光学的関係



① ポール ② ヨーク ③ コイル ④ 冷却管 ⑤ 偏向室真空槽 ⑥ 真空槽のぞき窓

第 4 図 電磁石組立写真

幅を 2 mm とすると (2) 式より

$B = 600 \alpha^2 = 1 \dots \dots \dots (4)$

ゆえに $\alpha = \frac{1}{\sqrt{600}} \approx 0.04 \text{ (rad)} \dots \dots \dots (5)$

となるから水銀の相隣る同位元素を分離する場合は α を約 2.4 度 ($\sim 0.04 \text{ rad}$) まで開くことができる。

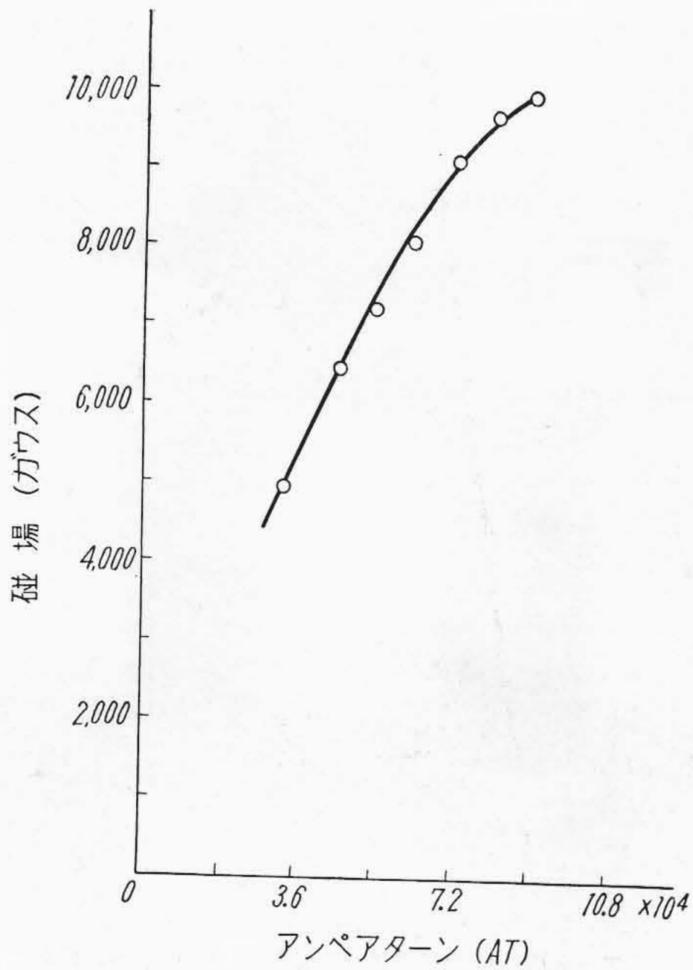
しかしながらこれらの数値はあとで述べるごとく実際には加速電圧の安定性、磁場の均一性と安定性、イオンビームの残留ガスによる散乱、空間電荷による拡がりなどの因子によつて影響をうける。

〔III〕 装置の概要

(1) 電磁石 (偏向マグネット)

電磁石のポールチップは五角形であり、ギャップは 8 cm、ポールチップのイオンソース側およびコレクタ側の辺長は 40 cm で使用幅は 32 cm に取つた。この使用幅は可動ビームシャッタによつて変えることができるので、イオンソースから磁場部分に入るイオンビームの拡がりの半角 α は最大約 6 度 (0.1 rad) まで変化させ得る(第 3 図)。

イオン幾何光学的に考えられる磁場の境界と実際のポールチップとの境界はいわゆる端磁場効果のため異なる



第5図 励磁曲線

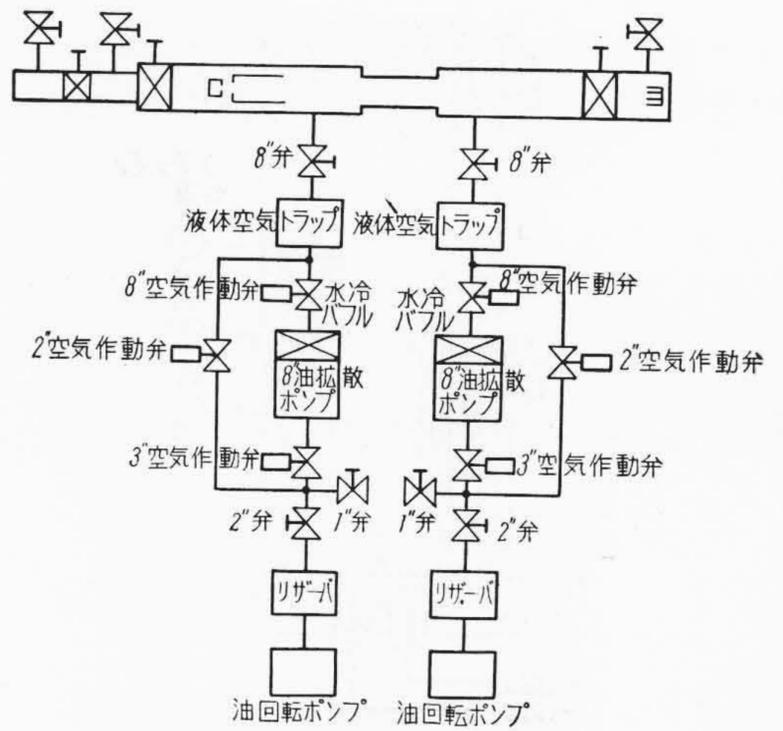
ので、この差異を9 cm と取つた。この値はギャップと軌道半径の長さ、ポールチップの面積などを考慮に入れて選ばねばならぬ値であるが、現在までの試験結果では少しく過大であつたと思われる。

電磁石ヨークの構成はいわゆるC型でギャップを縦方向においた。したがって装置全体の構成は縦型で、イオンソース、ポールギャップ、コレクタは同一垂直平面内に配置されている。電磁石の写真を第4図に示した。使用した鉄材は低炭素鋼で炭素含有量0.06%のものである。励磁用コイルは2個で各コイルは平角銅線の150ターンよりなる層を冷却用銅板を介在せしめて6層にて構成してあり、この銅板の外円周には第4図に示すごとく冷却用水冷パイプが銀付けしてある。二つのコイルは直列で全抵抗3.2Ωであり、37.5Aを5時間通電したときのコイルの温度上昇は9°Cであつた(室温16°C, 冷却水量32l/min)。

発生しうる磁場は真空槽の側板を兼ねる五角形のポールチップを取りつけて、ギャップが8 cmの場合励磁電流50Aで10,000 Gaussである。第5図に励磁曲線を示す。

(2) イオン偏向室真空槽

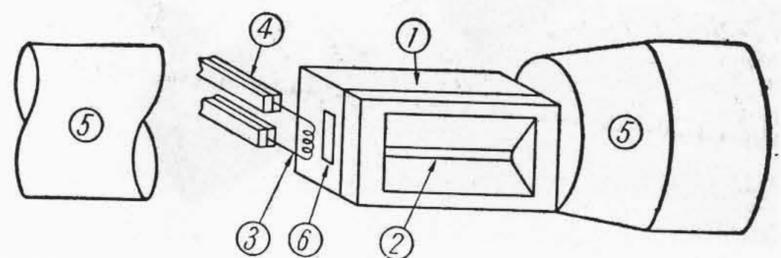
真空槽の側板がポールチップを兼ねているので磁場の均一性を顧慮してきわめて高い精度で製作した。側板になるポールチップは厚さ8 cmの五角形で、この5辺をかこむ真鍮板、および5箇所の隅のスペーサで機械的強度とギャップの精度を保たせ、真空のシールは真鍮板およびポールチップのおのおのに銀付けされたうすい銅



第6図 真空排気系配管系統

第2表 イオンソース仕様

| | 電圧 (V) | 電流 (A) | 磁場 (Gauss) |
|--------|--------|--------|------------|
| フィラメント | 6 | 50 | |
| アーク | 300 | 3 | |
| 炉 | 100 | 10 | |
| | 30 | 30 | |
| マグネット | 50 | 5 | 600 |



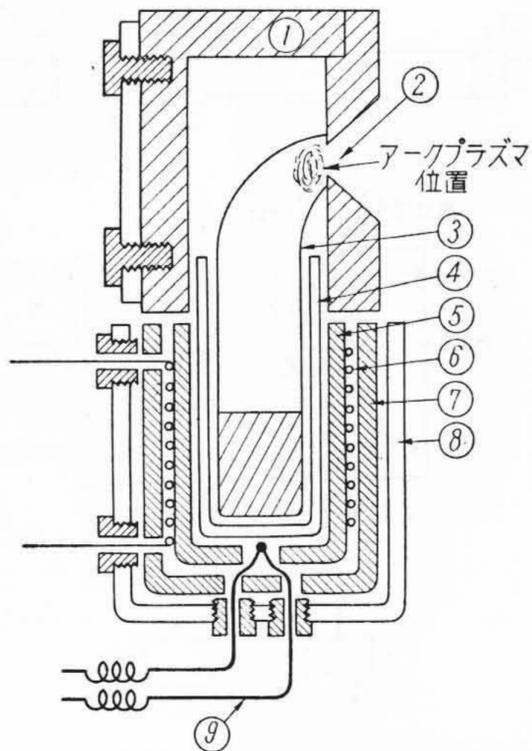
- ① アーク箱 ② イオン引出スリット ③ フィラメント
- ④ フィラメント支持 ⑤ イオンソースマグネットポールチップ ⑥ 放電孔

第7図 イオンソースアーク箱見取図

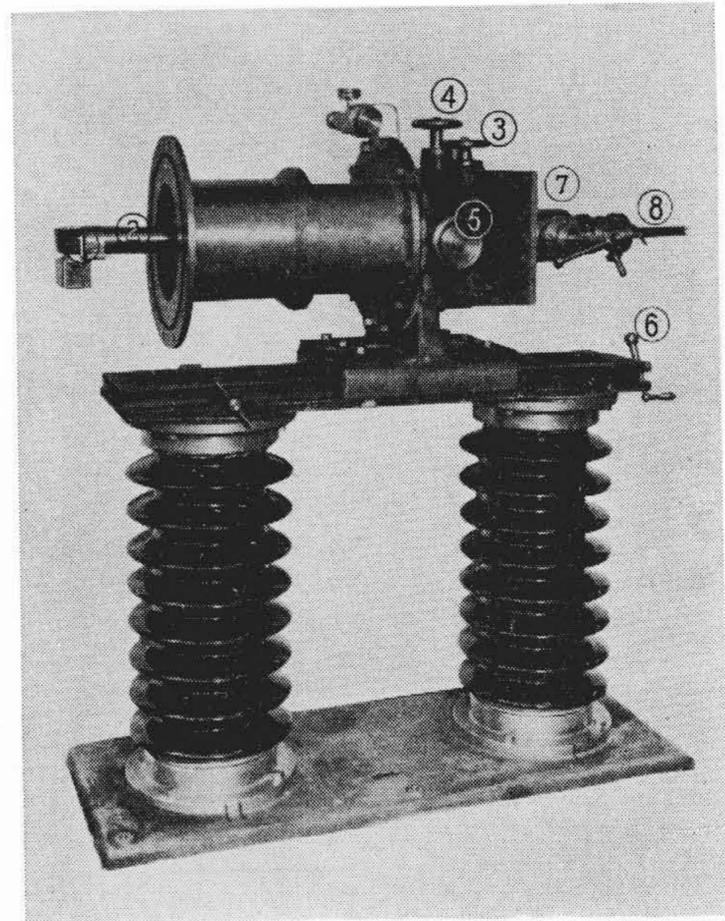
板の周端を互いに銀付けすることにより達成した。この真空槽の完成後のポールチップギャップの寸法精度は全面にわたつて $\pm \frac{2.5}{100} \sim \frac{3.5}{100}$ mm で、したがってギャップの80 mmに対して約 $\frac{1}{2,000}$ の程度である。また真空槽の内面には取替え可能な薄い無酸素銅板を内張りして各種試料のスパッタリングにそなえた。

(3) 真空排気系

ガス試料の場合、100cc/hのガス流量を予定すると 1×10^{-5} mm Hgの真空度を実現するには真空ポンプの容量は3,000l/s程度を必要とするが、都合上1,250l/s(8インチ油拡散ポンプ)を2台取りつけた。これは配管抵抗などで多少容量の不足を感じさせられるが、固体試料でガスを発生しない場合には十分といえる。真空系の配管系統は第6図に示した。

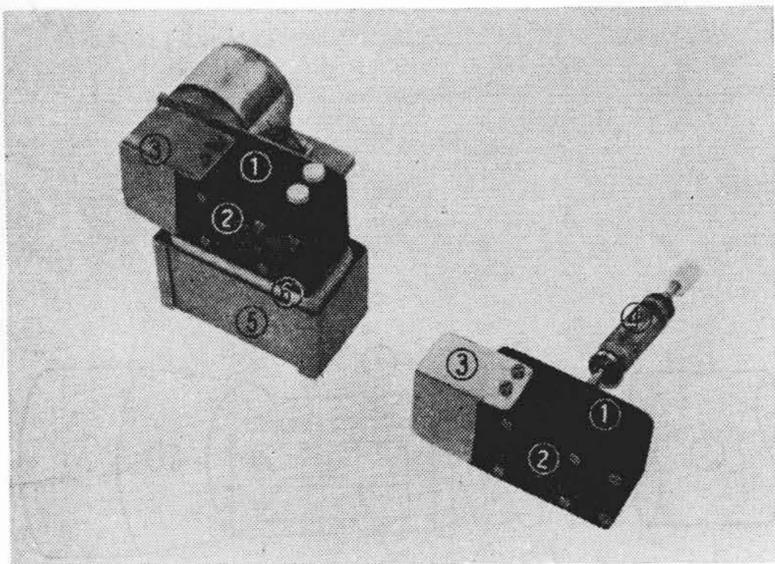


① アーク箱 ② イオン引出スリット ③ 煙突 ④ アルミナるつぼ
⑤ 内側炉 ⑥ ヒータ ⑦ 外側炉 ⑧ 炉体支持箱 ⑨ 熱電対
第8図 固体用イオンソース断面図



① アーク箱 ② フィラメント導入筒 ③ 回転ハンドル
④ 左右ハンドル ⑤ 上下ハンドル ⑥ 前後ハンドル
⑦ フィラメント交換バルブ ⑧ フィラメント冷却パイプ

第10図 イオンソース調節機構



① アーク箱 ② イオン引出スリット ③ フィラメントシールド
④ ベローズ ⑤ 炉体支持箱 ⑥ 外側炉

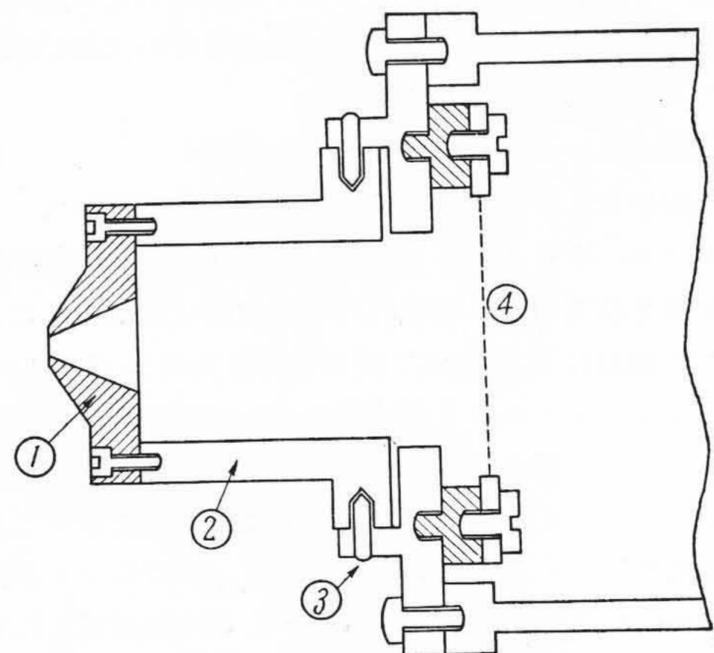
第9図 固体用アーク箱(左), ガス用アーク箱(右)の組立写真

フィラメントの取換, イオンソース全体およびコレクタの取替はそれぞれ主要部分の真空を破ることなく行い得るようにし, またイオンソースの前後, 左右, 上下および横回転の位置調節も真空を破らず外部から操作ができる機構にしてある。

ポンプ系の真空弁は圧搾空気作動でこれは電磁弁により遠方操作で開閉が行われるようになっていた。また長時間運転にそなえて停電, 冷却水の断水および真空度悪化を検出し自動的にポンプ系を遮断, 保護するようにリレー系統を組合せてある。

(4) イオンソースおよび加速電極

第2表にイオンソースの仕様を示す。ガス用イオンソースの構造は第7図に示すごとく細長いスリット(1~2×50mm)をもつたグラファイト製の箱型で, イオンソース用電磁石のポールチップの間に置かれている。固



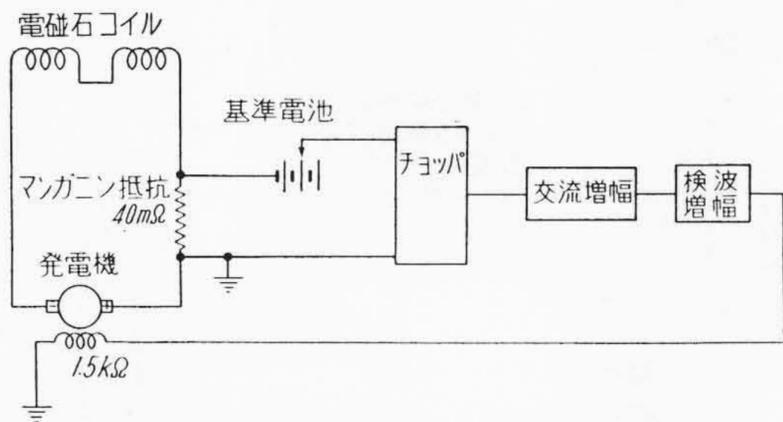
① 加速電極 ② 同支持 ③ 回転支点 ④ 空間電荷中和グリッド

第11図 加速電極断面図

体試料の場合のイオンソースは第8図にその断面を示すように, 電熱炉のついた箱を用い, 炉の温度はアルメルクロメル熱電対で読むと共に温度制御器で自動調節し一定温度での固体試料のガスをイオン化箱の中に導入する。

ガス試料の場合は第7図のごとく下部の閉じた箱を用いて直接外部よりリーク調節器を通じてガス試料を導入する。第9図にガス用および固体用イオンソースの組立写真を示す。

フィラメントは直径1mmのタングステン線を約6ターン, 外径4mm程度に巻き約50Aの直流電流を流し



第12図 電磁石励磁電流安定装置原理図

て白熱させ、アーク箱にあけた4×8 mmの放電孔より熱電子をアーク箱内に導入する。アーク箱とフィラメントの間にはアーク電圧数十ボルトがかけられており、熱電子は磁場によりその方向を制限されている。電子追返し電極はアーク箱に対して絶縁して取付けたステンレスの板でこれに到達する電子の荷電にて負電位となりフィラメントよりの電子を追返して箱内のイオン化効率を高めるのに役立つ。

かくして磁場の方向に細長く、イオン引出しスリットの近傍にできたプラズマ柱の中の陽イオンが、イオンソースと加速電極との間の数十キロボルトの電圧のため引出されて加速される。

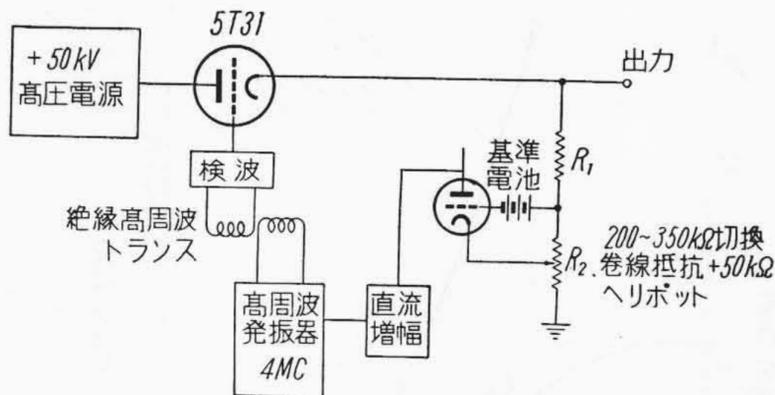
これらのイオンソース調節機構として(3)の真空排気系の終りでのべた調整作用をつかさどる装置を第10図に示す。フィラメント導入筒の先についているのは固体用のアーク箱である。

加速電極はイオンソース全体が数十キロボルトの正電位であるのに対してアース電位でグラフアイト製の電極をもつたステンレスの円筒である。第11図にその断面図を示す。イオンソースと加速電極との間の加速ギャップは外部より微動調節ができる。

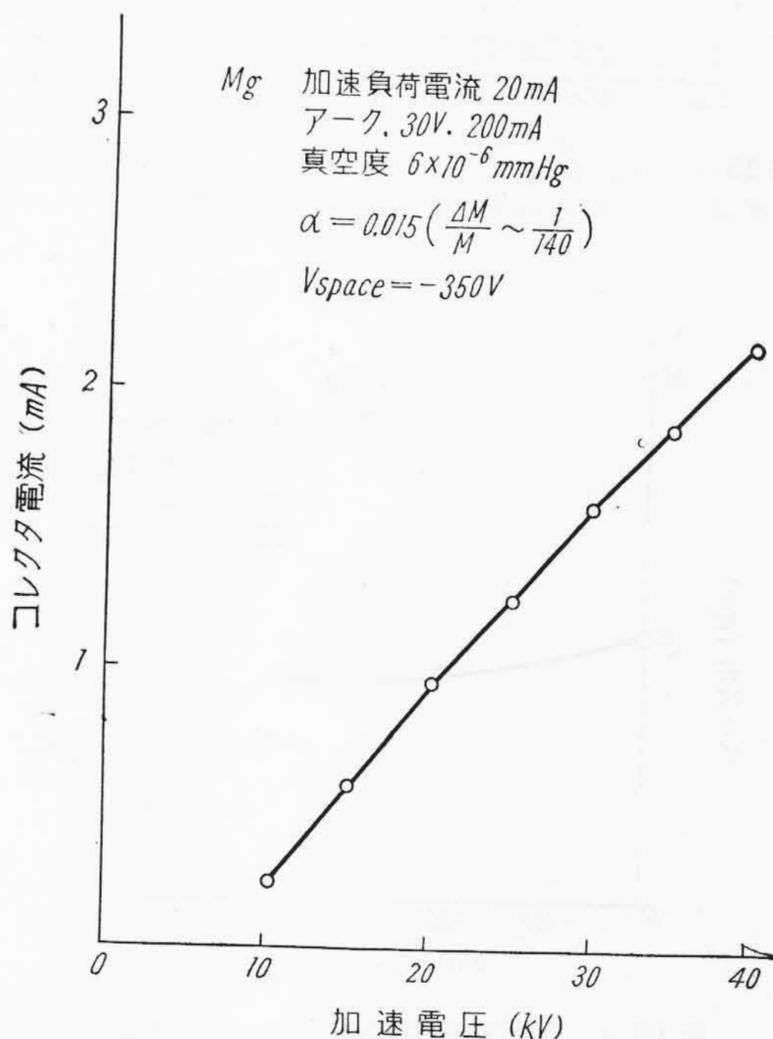
この加速電極の内部に第11図に示すごとくこれと絶縁したモリブデン線の金網を取付け、負の数百ボルトをかけるようにした。これは空間電荷中和用の電極で、イオンビームが残留ガスを電離して作る電子をイオン軌道内にとどめて、イオンビームがみずからの空間電荷で横方向に拡がる作用を打消すのに役立つものである。

(5) 励磁電流安定装置および加速電圧安定装置

励磁用直流大電流の安定方式⁽⁹⁾の概略の原理図を第12図に示す。これは励磁用コイルと直列に40mΩのマンガン抵抗を入れこの抵抗の両端に生ずる電圧と基準電池の電圧との差をチョッパ系によつて増幅する。出力は807のカソードから取り出して電磁石励磁用直流発電機のフィールドコイルに入れる。フィールドコイルは直流抵抗1.5kΩで50mA流したとき電磁石コイルに10A流れる。10~25Aの範囲でよくスタビライズされ現在の使用にはまったく支障がないが、まだ厳密なる検討は完



第13図 高圧加速電源安定装置原理図



第14図 加速電圧とコレクタ電流の関係

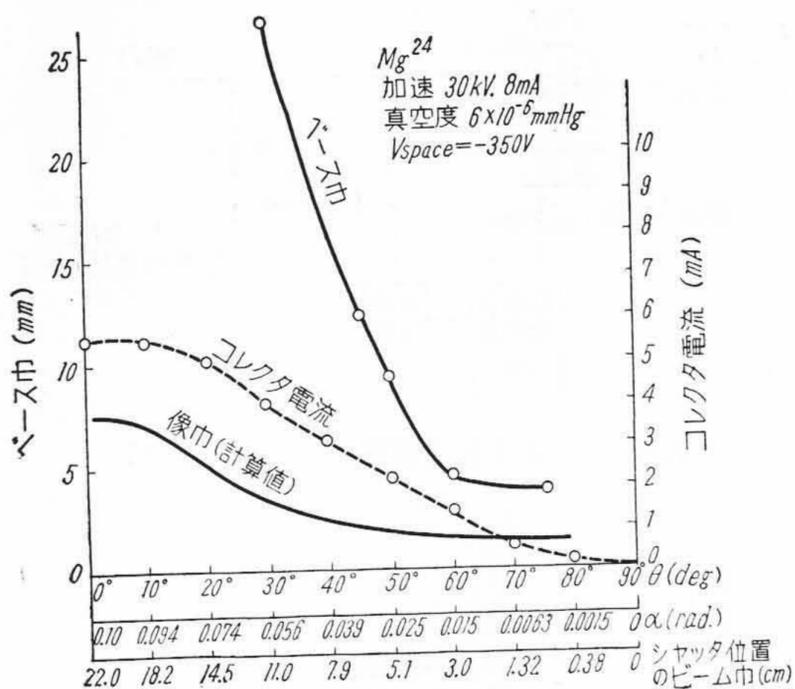
了していない。

加速電圧の安定方式の原理図⁽¹⁰⁾を第13図に示す。これは高圧交流整流方式による直流高圧出力を送信管5T31によつてコントロールする方式である。出力側からカーボン抵抗によつて電圧を取り出し、基準乾電池との電位の差を増幅し高周波に変調して5T31のコントロール電圧にする。5T31にかかる電圧を5,000V位に一次電圧を調節する。発生電圧の微細調整はR2のヘリポットによつて行う。得られた電圧の安定度は現在で1/2,000位である。

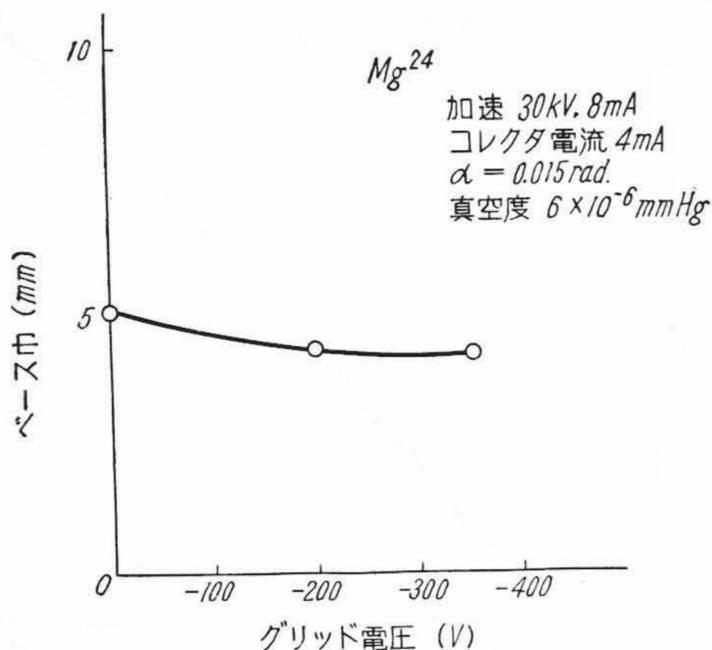
〔IV〕 現在までの運転結果

(1) 運転結果

(A) 加速電圧とイオン電流の関係



第 15 図 α と像幅，ベース幅，コレクタ電流の関係
 θ はビームシャッタがビームとなす角度

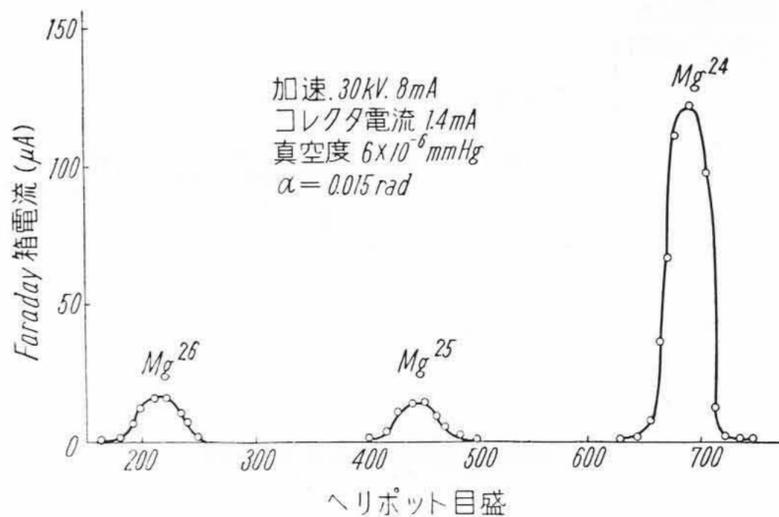


第 16 図 空間電荷中和用グリッド電圧とベース幅との関係

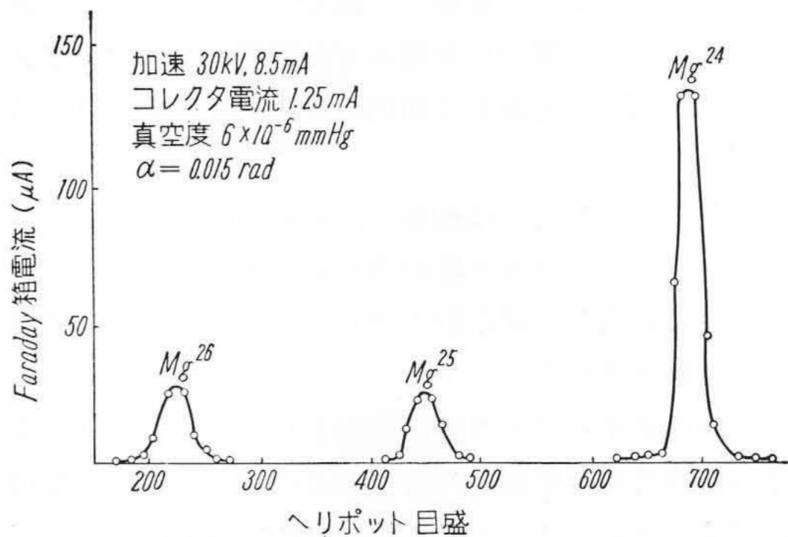
第 14 図に試料として金属マグネシウムを使用した場合のコレクタ電流と加速電圧との関係を示す。この電流値はビームシャッタを $\alpha = 0.015 rad$ に絞っているため電流値は全開の場合 (8~10mA) の約 $\frac{1}{4}$ となっている。これよりコレクタにくる電流値は加速電圧の上昇によつて急激に増大することがわかる。これは加速電圧の増大により残留ガスによる散乱の減少とイオンソースアーク箱内のイオンプラズマへの引出電場の増大によると考えられる。アルゴンガスの試料については散乱のほかに電荷交換散乱も相当に起るらしく、本体内の真空度が 10^{-4} mmHg 台に入ると数十パーセントの損失があるようである。

(B) ビーム像幅と α の関係

$\alpha = 0.015 rad$ 以上では α を増すとビーム像幅は急激に



第 17 図 $V_{space} = 0$ の場合のマグネシウムのスペクトル



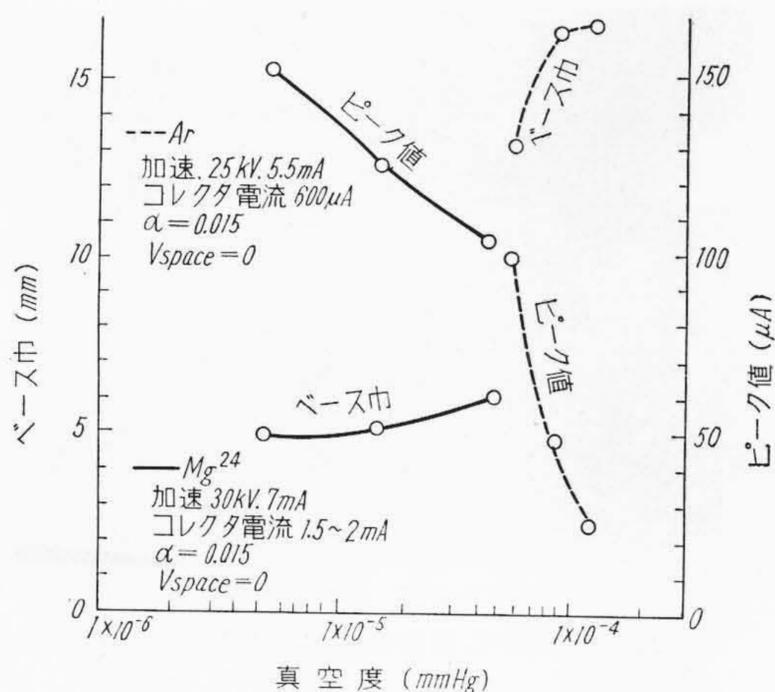
第 18 図 $V_{space} = -350 V$ の場合のマグネシウムのスペクトル

増大する。第 15 図にベース幅の実験結果と像幅の計算値、および各 α に対するコレクタ電流の実測値を示した。

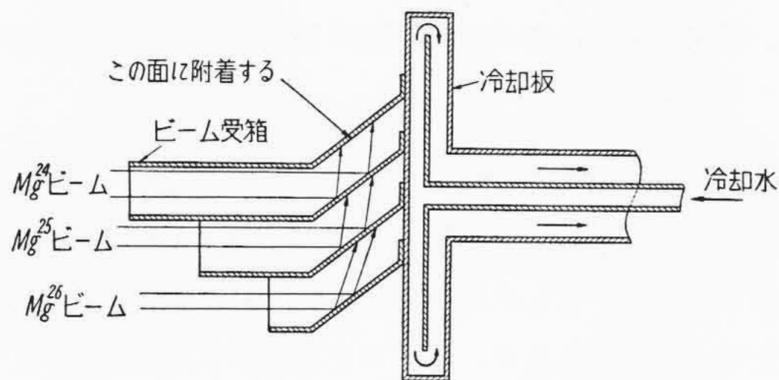
ここにベース幅 (base width) としてはスペクトルの山の両側の直線傾斜部分を下に延長して座標軸との交点を求め、両交点間の距離をとつた。ただし交点での電流のよみがなおピーク値の $\frac{1}{10}$ 以上の場合には $\frac{1}{10}$ になる点をとつた。このスペクトルはコレクタの位置に幅 1.5 mm のスリットをもつた Faraday 箱を取つけて測定したものであり、上記のベース幅はこのスリットを 1.5 mm 差引いた値である。このベース幅の増加は α の変化によつて期待される計算値と一致せずある程度結像点のずれを思わせるがなおガス散乱の効果も大きいので目下検討中である。

(C) 空間電荷効果

空間電荷中和用グリッド (加速電極内部に設けた電子トラップ用グリッド) の効果は第 16 図に示すごとくである。ここにはグリッドにかけた負電圧 V_{space} とスペクトルのベース幅の関係で示してある。また $V_{space} = 0$ の時および $V_{space} = -350V$ の時のマグネシウムのス



第 19 図 真空度とベース幅，ピーク値の関係



第 20 図 コレクタ断面図

ペクトルを第 17 図および第 18 図に示した。これらの結果より考察するに Vspace の負電圧を増大して行くとスペクトルはややシャープになるのが見られる。

(D) 真空度とベース幅の関係

残留ガスによるビームの散乱の効果は割合に大きく、真空度は 1×10^{-5} mmHg 以下に保つことが望ましい。真空度が悪いとスペクトルの山がつぶれてベース幅が増すと共にピーク値が減少する。第 19 図にその関係を示す。特にガス試料の場合本体内の真空度が悪いと、衝突断面積が大きいいため分離能は $\frac{\Delta M}{M} \sim \frac{1}{50}$ 位にしか達しなかつた。

(E) 加速電圧および磁場の安定性ならびに磁場の均一性

加速電圧のリップルは 30 kV で約 10 V にすぎずイオン初速度の不整も低電圧アーク型のイオンソースであるため問題にならない。磁場の強度分布はプロトン共鳴法による正確な測定はまだ行われていないが、サーチコイルによつて測定した結果では十分に均一であつた。また α を小さくして用いるときはほとんど影響はないと考えられる。

端磁場効果のために一般に像は新月型に弯曲するが現

在の分離の範囲 ($\frac{1}{100} \sim \frac{1}{150}$) では直線とみなして差支えない程度である (第 22 図参照)。

加速電圧および磁場のドリフトは像幅を拡げることになるが現在のところ Faraday 箱にうけたビームのピーク位置の変動より測定して 30 分間で $\frac{1}{2,000}$ のドリフトであつた。

(F) 長時間安定性

(a) 炉の温度コントロール

炉の温度コントロールは炉のアルミナるつぼにアルメルクロメル熱電対を挿入し、日立製自動温度調整器で自動制御する。現在炉の入力 150 ~ 200 W 位で安定に動作しているが、これには幾分の経験を要するようである。

(b) スパークダウン

マグネシウム試料の場合イオンソースから出る中性原子が絶縁用碍子の覆いに附着して内側のイオン加速電極支持円筒との間にスパークを起す。特に炉を加熱しすぎた場合や、加速負荷電流が多い (>15 mA) 場合、または加速電圧を高く (>35 kV) した場合によくスパークを起す。したがつてイオン電流を増強したい場合解決しなければならない問題の一つであるが、対策としてイオンソースの能率の向上、温度コントロールをさらに細かくして固体試料蒸発の限界最低温度で用いることなどが考えられる。

(c) 全体の長時間安定性

セパレータの運転には以上に述べた各種の要素がそれぞれ相関連して全体としての長時間の安定性を実現しなければならない。連続運転上具備しなければならない条件は各機能の安定動作のほかさらに前記機器保護のためのコントロールリレー類の動作の確実性も当然含まれる。現在のところガスおよびマグネシウム試料の場合、これらの全体を含めて数時間の連続運転、採取に十分に耐えている。

(2) 運転状況と試料採取の一例

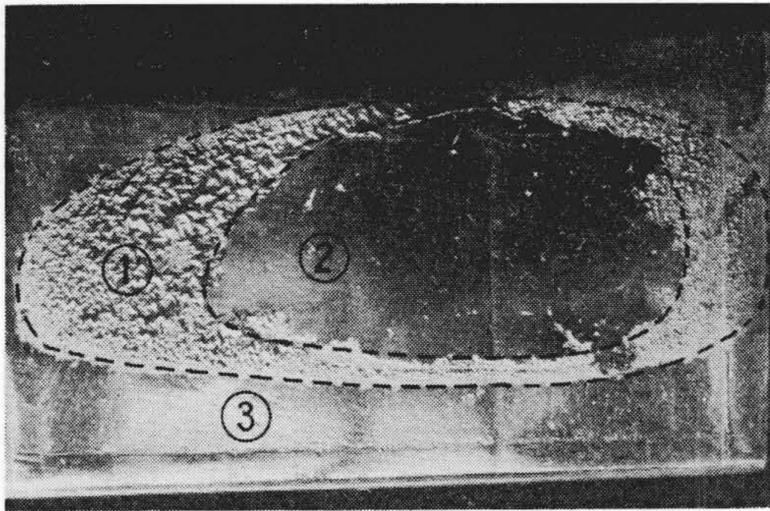
(A) ガス試料の場合

イオンソースおよびイオン幾何光学系の調整に際してはアルゴンガス、ネオンガスを使用した。その場合の状況の一例を第 3 表に示す。ガス元素の採取はまだ行っていないが分離純度を確かめるために Ne²⁰, Ne²² を採取する予定である。

(B) 固体試料の場合

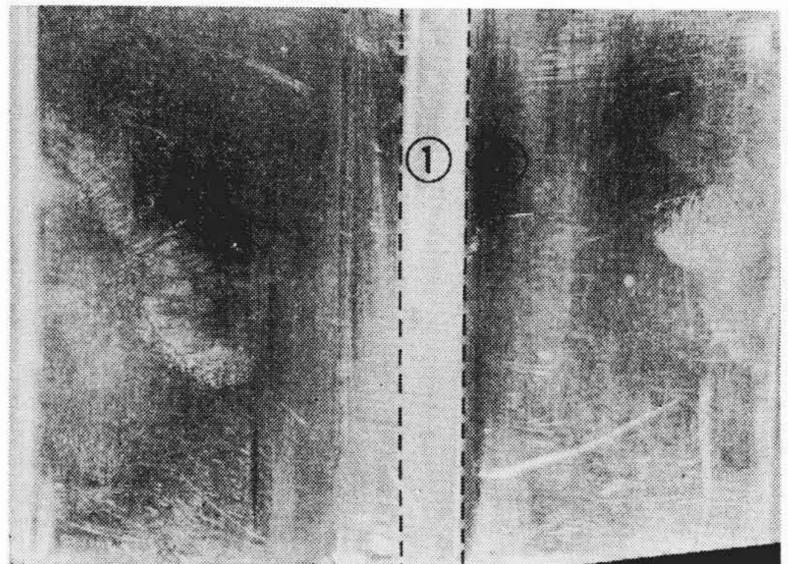
Mg²⁴, Mg²⁵, Mg²⁶ の分離採取を行つたので動作状況の一例を第 4 表に示す。

コレクタ電流 1 mA 以上のとき (第 4 表 I の場合)、第 20 図のようなステンレス製のコレクタにビームを受けた。このとき数ミリグラムのマグネシウムを集めることができたが、材質および温度の関係でうまく密着せず、直接あたつた点より反跳して側板にたまつたものも剥げ



① マグネシウム ② はげ落ちた部分 ③ ステンレスベース

第21図 ステンレスコレクタにたまったマグネシウム

① Mg²⁴の像 ② 銅ベース第22図 銅板に直接附着させたMg²⁴の像

第3表 ガス試料運転の一例

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| 加速電圧, 負荷電流 | 30 kV, 10 mA |
| アーク電圧, 電流 | 75 V, 400 mA |
| フィラメント | 6 V (D.C.) 50 A |
| ガス流量 | ~20 cc/h |
| イオンソース効率 (イオン数/リーク量) | ~16% |
| コレクタ電流 | 1 mA ($\alpha=0.015$ rad) |
| 分解能 ($\frac{\Delta M}{M}$) | $\frac{1}{50}$ |
| 運転時間 | ~2時間 |

第4表 固体試料運転の一例

| | I | II |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 加速電圧, 負荷電流 | 30 kV 8 mA | 16 kV, 6 mA |
| アーク電圧, 電流 | 40 V, 200 mA | 40 V, 200 mA |
| フィラメント電流 | 42 A | 42 A |
| 炉のヒータ | 5 A, 30 V (A.C.) | 5 A, 30 V (A.C.) |
| 炉の温度 | 500~450°C | 500~450°C |
| 空間電荷中和グリッド | -350 V | -100 V |
| 真空度 | 6×10^{-6} mm Hg | 6×10^{-6} mm Hg |
| コレクタ電流 | 1.5 mA ($\alpha=0.015$ rad) | 0.7 mA ($\alpha=0.015$ rad) |
| 分解能 ($\frac{\Delta M}{M}$) | $\sim \frac{1}{140}$ | — |
| 運転時間 | ~3時間 | 3時間 |

落ちてしまう。第21図にその写真を示す。

そこで電流強度を弱めよくみがいた銅板をコレクタに用いて直接附着を行わせた。その場合の状況は第4表のIIである。銅板にメッキをしたようにマグネシウムが附着し、その一部は合金を作つたように見受けられる。第22図にそのMg²⁴の採取された像を示す。計算上では約1.5mgのMg²⁴が附着している。Mg²⁵もMg²⁶同様な像を作つている。

やはり電流の強い部分は周囲にスパッタしているよう

であるが、大部分は密着した状態をとることができ、前に述べたように端磁場効果による像のゆがみが出ていない。現在のところこの直接附着の方法で原子核実験用のターゲットを製作している。

〔V〕 結 言

日本においては同位元素電磁分離装置はまだ始まつたばかりであり、さらに今後の研究により解明されねばならない点が多くあるが、現在日立製作所日立工場において製作中の東京大学原子核研究所納入の第2号の完成運転により(1957年度中)多くの進歩を遂げるものと思われる。

本装置の完成、運転に成功したのはひとえに京都大学理学部物理学教室木村教授を始めとして同研究室の方々のたえざる御指導と御協力によるものであり、また今回発表に際し幾多の試料を提供して頂いたことに対し厚く御礼申し上げるものである。

参 考 文 献

- (1) W. R. Smythe et al. Phys. Rev. 45, 724 (1934)
- (2) M. L. Oliphant et al. Proc. Roy. Soc. 146, A 922 (1934)
- (3) J. Koch. Mass Spectroscopy in Physics Research. N. B. S. Washington (1953)
- (4) I. Bergström et al. Arkiv fysik 1, 281 (1949)
- (5) C. J. Zilverschoon Thesis. University of Amsterdam (1954)
- (6) R. Bernas J. Phys. Rad. 14, 34 (1953)
- (7) R. Bernas Theses. Paris (1954)
- (8) K. T. Bainbridge. Experimental Nuclear Physics P.576 John Wiley & Sons INC.
- (9) J. R. Wolff et al. R. S. I. 22, 736 (1951)
- (10) R. Pepinsky. P. Jarmotz. R. S. I. 19, 247 (1948)