研 究

直規型高分子質量分析計の試作と SF₆ ガス中消弧現象研究への応用*

(主として装置の概要について)

宮 本 紀 男**・鎌 谷 章 博**・後 藤 正 之***

(昭和38年3月6日受理)

Development of a Time Resolved Type Mass Spectrometer and its Application to the Studies of Arc Quenching Phenomena in SF₆ Gas.

Toshio MIYAMOTO, Akihiro KAMATANI and Masayuki GOTOH

(Both Electrical engineering department)

(Physics department)

(Research Raboratory, Mitsubishi Electric Manufacturing Company, # 80 Nakano Minamishimizu Amagasaki-shi Japan)

Among the fundamental studies of arc quenching phenomena, principal concern is the physico-chemical properties of arc space. In either are quenching medium, interruption is made in the gas phase where, excitation, dissociation and recombination processes are undergone and these processes largely affect the arc quenching performance.

Sulfur hexafluoride gas, SF₆, has been found to have favorable properties for use as an arc quenching medium. This polyatomic gas shows very complicated physico-chemical behaviors when it is subjected to arcing. For the quantitative understanding of arc quenching performance in SF₆, it is of great importance to investigate the rapid reaction in gas phase.

A time resolved type mass spectrometer has been developed for this purpose and successfully applied to the studies of arc quenching phenomena in various gases, including SF₆.

Basically, the instrument is a conventional 60° sector mass spectrometer modified for fast sampling, with peaks scanned electrostatically in a saw-tooth manner. The collector is an ion-electron multiplier and peaks are displayed on oscilloscope. The gas reaction to be studied takes place in a miniature arc chamber mounted next to the ion source.

In this paper, a detailed description is given of the instrument and its application.

1. 序

その内容において、目覚ましい変化の比較的少ない電力技術において、電力用しや断器は、過去10年間にもっとも変貌したものの1つに数えられるであろう。

しや断器は、電力の発生から消費に至るまでの全過程を通じ、またその常時の開閉と故障時の保護の全運用に

わたって必要欠くことのできない機器である。しや断器として所要の性能をもち、また信頼して使用することのできるものが供給されて、はじめて発電、送電から受電までが安心して行なえるというべきである。近年の電力系統の高度の発達にともない、しや断器の性能に対しての要求は文字どおり、その日進月歩の改良を促している。これに応えるべく、電流しや断現象に関する研究も、その重要性をますます強調されている。とくに、近い将来実施される予定の40万ボルト送電に備えて、新しい消弧原理に基づいた、さらに高性能のしや断器を

* 昭和37年11月29日 第3回真空に関する連合講演会にて講演

** 三菱電機(株) 研究所 電気第一研究室(尼崎市南清水字80)

*** 同所物理第一研究室

開発する必要があり、当所でも、かねて、このための研究を行い、しや断器開発上必要な基礎資料を得るために努力中である。

最近、新しい消弧媒体として注目され、脚光を浴びているものに、 SF_6 ガス（六弗化硫黄）がある。このガスを利用することにより従来不可能であった高性能のしや断器を実現できる見通しもあり、現在、とくにこの SF_6 ガス中アークの諸特性を把握するために研究を行っている⁽¹⁾。

一般に消弧過程は、高温、高コンダクタンスのプラズマからなるアーク空間が、急速に常温、低コンダクタンスの空間に変化し、極間の絶縁耐力を回復する過程であって、普通のしや断器では、3～5 サイクル（3/60～5/60 秒）で消弧を完了することが要求される。消弧現象の研究も、この3～5 サイクル内の、プラズマ温度の急激な変化あるいはコンダクタンスの変化を定量的に究明することが必要であって、このための、電氣的測定、あるいは分光測定は、各種しや断器における消弧現象究明のため、すでに多くの研究者によって行なわれている^{(2)～(10)}。かかる研究によって、すでに明らかにされていることは、いわゆる、「残留電流」が存在することであって⁽²⁾、交流電流のしや断零点以後においても、電弧路に残存するわずかの導電性により、微少電流が逆方向に流れ、その大きさはしや断器の種類、およびその状況により著しく異なるが、数千ないし数万アンペアのしや断電流に対して、10 ないし 0.1 A という場合が多い。この残留電流の多少は、しや断器のしや断性能と密接な関係があり、しや断器技術者にとっては、1つの関心の焦点となっているものであるが、残存する導電性が何に起因するか、等についての詳細な取扱いは、まだ行なわれていない。とくに、多原子分子気体である SF_6 ガスの場合には、高温のアーク空間で、 SF_6 の大部分が S および F に解離しているものと考えられており⁽¹¹⁾、消弧の際、これがどの程度再結合するものか、その場合の残留生成ガスが、いわゆる「残留電流領域」においていかなる振舞を示すものか等については、赤外あるいは、紫外線分光流し写真による測定と同時に、直視型高分子量質量分析計を併用して実験を行うことが望ましい。一般に、分光分析は高輝度、高温のいわゆるアークの大電流期間を取扱うのに適しており、質量分析は、比較的低温の消弧直前から電流零後の数 10ms のアーク空間の組成を定量することに適している。この場合、試料導入系が問題であるが、筆者らは、molecular beam の手法を試料導入系に適用し、これと直視分析計を結合することを試みた。今回試作した導入系は、最終的なものでなく、まだかなり改良の余地があるが、以下本稿では、直視型

分析計と試料導入系の試作一号機について、装置の概要を報告する。なおアーク空間の残留生成ガス等に関する測定結果の詳細については別の機会に電機関係誌に報告したい。

2. 直視型質量分析計の概要

直視型分析計としてよく知られているものに、いわゆる、Time of Flight⁽¹²⁾ 型分析計があって広く高速反応の研究に応用されていることは周知の通りである⁽¹³⁾。しかしながら、T・O・F 型の装置では、sampling time が 0.25 μs に固定されており、1 回のイオン加速掃引で加速検出されるイオン強度が小さく、質量ピークの統計的変動が大きいこと、信号増巾系の dynamic range が小さいという欠点がある。とくに、筆者らが必要とする、0.1ms～10 sec 迄の反応を取扱う場合には、むしろ、普通の Nier 型分析計が適しており、この種の分析計を直視型にすることによって、我々の研究目的にかなったものの製作が可能であると考えられる。試作した装置は、Nier 型分析管を有し、イオン加速用鋸歯状波により、直視分析を行うもので、近年長足の進歩を示した 2 次電子増倍管を分析管に直結し、スペクトル時間分解能 100 μs 、質量数分解能 140 を得ている。この種の装置は古くから試作研究されてきたが^{(14),(15),(39)}、微少電流の増巾それ自身の困難に加えて、イオン流増巾系に速い過渡応答が要求されるため、T、O、F 型に比肩する程のものは従来実現不可能であった^{(16),(17)}。今回試作した装置の時間分解能はすでに報告されている⁽³⁸⁾ この種の分析計の中では、最高のものである。高速反応の研究を行う場合、試料導入法はとくに重要な問題であって、実際のしや断器では 1 気圧以上、十数気圧におよぶ消弧ガス中でしや断が行なわれるため、少なくとも 1 気圧程度のガスを直接 10⁻⁵ mmHg のイオンソース内に導入する必要がある。このため試作した装置では、1 atm 程度に SF_6 ガスを充填した miniature 消弧室をイオンソース部に直結し、この消弧室の中で放電を行う方法を採用した。miniature 消弧室から試料ガスを高速度で導入するため、いわゆる molecular beam の手法⁽¹⁸⁾、を応用し、試料を音速ジェット の形でイオンソース内に導入している⁽²⁰⁾。導入されたガスのうち、イオン状のものは直接加速分析し、多原子分子状のものは、各々の dissociative ionization potential より少し低い電子エネルギーを有する電子で衝撃した後分析する方法を採用している⁽¹⁹⁾。分析計本体は三菱 MS-4 15 型超高真空質量分析計⁽²¹⁾と、ほぼ同一の諸元寸法のものである。試作した装置のブロック図を (Fig. 1) に示す。分析計

Fig. 1 (a) General schematic diagram of mass spectrometer.

Fig. 2 (b) Block diagram of MS-315-F mitsubishi mass spectrometer. (for conventional use)

は全 Stainless製で、大別して4部からなり、各々試料導入部、真空排気部、分析管、電磁石からなる質量分析部とイオン流の増巾、記録のための記録部からなっている。試料導入部より導入されたガスはイオンソース内で電離、加速され、分析部に偏向、集束される。直視型の場合には、イオン流は鋸歯状波により、加速変調されコ

レクタにはイオンパルスとなって到達する。イオンパルスは電子増倍された後、直結 white cathode follower と cascade 増巾器を通して、spectro-monitor synchro に導かれる。イオン加速用鋸歯状波と同期して synchro を掃引することにより spectrum pattern の刻々の変化をスクリーン上に直視することができる。刻々のスペクトルの変化を記録するために、コマ取カメラ（ニコン F 250-F motor drive unit 特殊コマ数）を用いて撮影する方法を採用している。この他、等価コマ取速度を増すために、スペクトルボタンをブラウン管スクリーン上で Y 軸方向に掃引すること、特定の質量ピークのさらに早い時間変化を追跡するために数個の質量ピークの時間変化をスクリーン上に包絡線として描くこと等も可能である。Fig. 2 は装置の外観である。右が分析計本体、左側6面は電子

管装置である。以下、分析計各部についてのべる。この分析計の総合特性は Table. 1 の通りである。

3. 分析計各部

3.1 試料導入部

本装置は、汎用の分析計としても使用できるように分

Fig. 2 Time resolved mass spectrometer left to right. Electronic control cabinet and the main body.

Table 1 Out line of the time resolved type mass spectrometer.

Resolving power :	Time resolution 100 μ S
	: Mass resolution 145
Scanning :	Electrostatic scanning
	50c/s $\sim$ 20 kc.
Analyzable mass range :	1 $\sim$ 200 a. m. u.
Ion accelerating voltage :	$\pm$ 1.8KV $\sim$ 0.9KV
Electron emission current :	50 $\sim$ 500 μ A
Electron accelerating voltage :	0 $\sim$ 100V
Analyzer tube	
All stainless steel	
Ion orbit radius :	150 m/m
Deflection angle :	60°
Electromagnet	
Pole piece gap :	15m/m
Field intensity :	10KG _{max}
Evacuating system for conventional use.	
Oil rotary pump	60 l/min
Oil diffusion pump	120 l/s
Copper foil trap	Liquid oxygen
Ionization gauge	1 G-305A (Mitsubishi)
Ion current detector.	
Electron multiplier :	Mitsubishi ND-9112
Direct coupled white cathode follow	Gain 150
2 stage cascaded low noise pre-Amp :	B. W.
	>1 MC.
Spectro-monitor synchro with differeential main	
amplifier.	
Spectrum display system and data processing	
system.	
Conventional multiple-trace synchro.	
Diferential mixing amplifier for vertical sweep	
and 2 dimensionl display of spectra.	
Nikon F motor drive unit :	250-F.

Fig. 3 Analyzer system of conventional time re-solved type mass spectrometer V: denotes, 6-directional stainless bellows valve.

子流リークによる試料導入部と、六方向ステンレスバルブ (Fig. 3矢印) を備えているが直視分析計としての機能を十分生かすためには、さらに高速度の試料導入装置が必要である。消弧現象の研究に必要な試料導入系の応答は 0.1ms $\sim$ 10sec の程度であって、現在可能な方法の1つは、謂ゆる分子ビーム試料導入法 (略称 MBS法) である。分子ビームそれ自身については、Kistiakowsky⁽¹⁹⁾、Kantrowitz⁽¹⁸⁾ らの研究があり、高密度の分子ビームを比較的容易に得られることが実証され

Fig 4 Schematic drawing of molecular beam sampling head for SF_6 (not to scale),

Fig.5 Electronic equipments for 2 dimensional display of changing mass spectra, ion-pulse height analysis, mass selecting-gate—and M/e pulse height stretcher for digital read out of mass peak.

Fig.6 Vacuum system power supply for evacuation system.

ている。筆者らはこれらの手法を分析計の試料導入部にも適用できるものと考え、反応容器 (Miniature arc chamber) と分析計イオンソース部とを MBS unit で結合することを試みた。MBS法を質量分析計と組合せる場合、注意すべきことは、反応容器内から試料を導入する過程で、(i) Wall recombination (ii) Sonic beam 境界層における試料ガスの解離、その他の反応、(iii) 分子ビーム内で解離再結合反応等が発生する可能性があり、これらは実験の信頼度を上げる

ため極力避ける必要がある。その他、大きな質量数範囲を一度に直視する場合、分子ビームの性質が空間的に変化し、粘性流から分子流に移行するため、分子ビームの質量数に対する撰択性をも考慮しなければならない等、分子ビームに関するさらに進んだ研究が必要である。今回試作した装置は上にのべた問題点のすべてを解決した最終的なものではなく、現在も引き続き MBS 法に関する基礎実験を続けている。Fig. 4 は試作した MBS unit の構成図であって、ロータリポンプ (650 l/min) 1 台、拡散ロータリー排気ポンプ (650 l/min) 2 組を使用し、反応槽内圧 100 mmHg のときイオンソース内圧を 10^{-6} mmHg に保つことが可能である。MBS 系の諸元寸法は、Zapata 他が行っている分子ビームに関する実験結果を基礎にして^{(22),(23),(24)}、 SF_6 分子ビームに適した寸法を決定したものである。このうち、重要な寸法は、ラバールノズルの開角と 1 ズルの最少断面積および、第 1 スリットとノズル間距離である。分子ビーム内に直立あるいは斜め衝撃波が介入し、ビームを乱すことを極力避けるため、シュリーレン法による実測結果⁽²⁶⁾と Liepmann⁽²⁷⁾、Prandtl⁽²⁸⁾ らの境界層に関する研究結果を総合してラバールノズル角 41° を決定した。モデル実験では、局所マッハ数 4 であった。かかる構成の MBS unit を用いることにより反応槽内に 0.4 atm の

←Fig. 7 Single sweep of back ground spectrum at 10^{-6} mmHg. (Baked out for 10hrs. at 300°C)

ここに、

N_1 : 反応槽内の分子数/cc S_2 : 第2スリット断面積

a_0 : 反応槽圧に相当する音速 M : 局所マッハ数

S_1 : 第1スリット断面積 $\gamma: \frac{C_p}{C_v}$ (SF_6 の場合, $\gamma=1.07$)

A : 第1、第2スリット間隔である。

この式から定性的に判る通り、質量数選択効果は、 γ と a_0 によって定まる。しかし1式は理想的な仮定に基づいて導かれたもので、分子流と粘性流の転移とそれに付随する質量数選択効果については考慮していない。この点については理論的解析は不可能であるので実験的に求め1式を補正し、これを定量的な較正式としている。この較正式は、MBS unit の多様性をすべて考慮したものではなく、 SF_6 用 unit についてのものであるためここでは、その詳細については省略する。

以上のべた通り、分子ビーム試料導入法を分析計と直結し、一般の高速反応の研究を行うには、まだ残された問題も多く、今後の研究に待つところ大である。しかし少くとも、アーク消滅後アーク空間に残存する、中性の準安定解離分子については、有力な手掛りを得ることができた。導入装置は今後さらに高性能のものに発展させアーク発生中あるいは、ポストアーク期間の電気的特性と空間の物理化学的性状の過渡変化とを結び付けていきたいと考えている。

3.2 質量分析部

質量分析部は、分析管、イオンソース、電磁石からなり、その大要は、MS-415 型超高真空質量分析計と同様である⁽²¹⁾。主な相違は、正負イオンの測定が可能のようにイオン加速電圧の極性を切換えること、電子増

SF_6 を入れた場合、分子ビーム強度 10^{13} 分子/秒 が得られた。この場合、ビーム強度の測定法が問題であるが、現在のところ、まだ決定的な測定法は国際的にも定まっておらず、散見されるものでは California 大学の分子ビーム研究グループの電離真空計法⁽²³⁾、Virginia 大学の Pirani gauge 法⁽²³⁾ があるのみである。筆者らは、ビームを直接イオンソース内で電離加速して、ビームのスペクトルパタンを直視し、頭記の分子ビーム強度を得たものであるが⁽²⁰⁾、本節のはじめに指摘した、ビーム内、あるいは壁面での反応については、まだ定量的に把握できる段階に至っていない。しかし、この2次的な効果は、MBS unit の設計で解決できるもので、本質的な問題ではない⁽²³⁾。むしろ分子ビーム法では、質量数の選択性が本質的な重要な問題である⁽³⁰⁻³⁷⁾。ビーム強度 I は理論的に(1)式で与えられる⁽²²⁾。すなわち、

$$I = \frac{N_1 a_0 s_1 s_2}{2\pi A^2} \left\{ \frac{M[(3+\gamma M^2)/2][1 + \text{erf} \sqrt{\gamma M^2/2}]}{\sqrt{(1+(\gamma-1)/2)} M^2} + \sqrt{2/\pi\gamma} [(2+\gamma M^2)/2] \exp(-\gamma M^2/2) \right\}$$

if $M > 3$,

$$I \approx \frac{N_1 a_0 s_1 s_2}{2\pi A^2} \cdot \frac{M(3+\gamma M^2)}{\sqrt{(1+(\gamma-1)/2)} M^2} \quad (\text{分子/sec}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

← Fig. 8 Cracking spectrum of pure SF_6 gas (SF_6 0.1mmHg).

倍管を内蔵していること、低速度チャート記録と直視の両方が可能であること等である。以下、汎用直視分析計としての分析部諸元寸法、性能を記す。

- A. 分析管：イオン軌道半径 150m/m
：イオン偏向角 60°

B. イオンソース

イオン加速用直流電圧：±0.9~1.8kV
イオン加速用高圧鋸歯状電圧：0~0.5kV⁽²⁵⁾
イオン加速用電界掃引周波数：50c/s~20KC
電子衝撃用電子電流：50~500μA
電子衝撃用電子加速電圧：0~100V

C. 電磁石

磁界可変強度：0~10000 gauss
磁極間隙 16m/m
分解能 145
分析可能質量数範囲： $M/e=1\sim200$

注：チャート記録の場合の磁場掃引速度。
1min, 5min, 10min, 30min, 100min

3.3 イオン流増巾、記録部

A. イオン流増巾部

本機は、ブロック図 (Fig. 1) に示す通り、直視型の場合と、汎用分析計の場合の両用の増巾部を備えているが、ここでは直視型の場合について記す。質量分析部で分散偏向されたイオン流は、分析管他端にとりつけた、三菱電子増倍管ND-9112⁽²⁹⁾により約 10^6 倍に電子増倍される。汎用分析計の場合には、この増倍管出力を振動容量電位計に導きチャート記録するのであるが、直視型の場合には、増倍管に直結して、Nuvisor管2本によるWhite cathode followerを組込んでいる。電子増倍管の負荷抵抗は、掃引周波数に応じて切換えるようにし、必要に応じてそのあとに超低雑音3極管3本からなるカスケード増巾器を直結し最後は普通のcathode followerで信号を取り出している。イオン流増巾系は、すべてパーマロイシールドを施しS/Nの良好な分析が行えるようになっている。

B. 記録部

増巾器の出力は、スペクトルモニタシクロ内主増巾器、あるいは市販のTektronixの増巾器に導くことにより、スペクトルを直視することができる。ブラウン管上スペクトルは、市販のコマ取カメラによって撮影されるが、コマ取の等価コマ数を増加するためスペクトルをY

Fig. 9 Panoramic spectrum of Xe group. scam: $200\mu\text{S}$.

Fig. 10 Panoramic spectrum of H_2O^+ group. At the limit of time resolution. Scam: $20\mu\text{S}$.

方向に掃引することが可能になっている。これは、3つの Binary回路と、Diode matrix により8段の階段波を作り、主増巾器で混合しブラウン管の水平軸を偏向するものである。この他さきにものべた通り、特定数個のピーク値の急激な時間変化を記録するため、質量ピークの変化をブラウン管上に包絡線として記録する装置を備えている⁽²⁵⁾。Fig. 5 は記録ならびにデータ処理装置の外観である。スペクトルモニタシクロは Fig. 2 分析計中央に取付けている。記録ならびにデータ処理装置の詳細については紙面の関係で省略する。

3.4 真空排気部

試料導入部として、3.1 にのべたような高速度のものを必要としない場合には、導入部に molecular flow leak を用いて、本機を汎用の直視分析計とすることができる。ここでは、その場合の真空系について記す。Fig. 1 のブロック図にみられる通り、分析管、試料導入部は各々、 60 l/min 、 120 l/s のロータリ、拡散、両ポンプと、液酸トラップからなる排気装置で排気される。

試料導入には stainless bellows の6方向真空バルブを用いている。昼夜連続運転を行うため、真空速動バルブ、断水リレーを用い、真空計と連動させている。

Fig. 6 は、真空排気装置用制御装置外観である。

4. 分析計の諸性能と分析例

試作した分析計の直視型としての総合性能は次の通りである。

直視スペクトル時間分解能	: $100\mu\text{S}$
直視分析可能質量数範囲	: $1\sim 200$
直視可能質量数範囲	: 掃引中心質量数 ± 25
直視可能最少イオン流	: 10^{-6} mmHg のとき 10^{-16} A

直視スペクトル質量数分解能: 140

4.1 Back ground スペクトルの分析例

装置を汎用直視型分析計の構成として、分析管類を10時間 bake out した後、 10^{-6} mmHg にて back ground スペクトルの分析を行った。Fig. 7 は、そのスペクトルの1例である。 H_2O^+ のピーク値は、電子増倍管入力換算 10^{-15} A に相当する。質量数56以上には、Back ground peak はなく、 SF_6 ガスの cracking pattern も主要なものは、殆んど60以上であるところから、高質量数範囲でのガス分析は十分信頼できるものである。

4.2 特定ガスの分析例

Fig. 8 は、純 SF_6 ガス (Allied Chemical Co.) 0.1 mmHg を分子流リークを通して分析したスペクトルの例である。 SF_6 はフィラメント、あるいは O_2 と反応し、 SO_2F_2^+ 、 SF_2^+ 等を生成するものと思われる。

Fig. 9 は、Xeガスを 10 mmHg に導入した場合の分析例であって、直視型の場合、 $130\sim 140$ が分解能の限度であろう。勿論、イオン軌道半径を 150 mm 以上にすれば質量数分解能がさらに改善されることはいうまでもない。

Fig. 10 は、時間分解能限界付近の直視スペクトルの1例である。 H_2O^+ ピーク付近を示しているが、パルス応答に限度が認められイオンパルス波形に高周波歪が認められる。この時の掃引速度 $20\mu\text{S}$ である。

4.3 スペクトルの時間変化記録の例

Fig. 11 はスペクトルの時間変化記録の1例であって、アーク発生直後の S_2F_2^+ ピークの変化を追ったものである。撮影は、コマ取カメラにより、コマ間隔 100 msec 露出時間、 1 ms で行っている。掃引速度も 1 msec である。 S_2F_2^+ が放電直後に発生し、徐々に減少していく過程をよく示している。あとにも示すように SF_2^+ ピークがアーク発生後、徐々に増加することから、 S_2F_2^+ が

Fig 11 Time variation of mass peak 102 after arc discharge.

Energy released : 2kws/cc.

gas : SF_6 760mmHg.

SF_2^+ に解離しているものと考えられる。試料導入はMB S unit により行い、分析管内圧 10^{-5}mmHg 近傍で行った。なお、アークは発生と同時にMB S unite の第1ラバールノズル口に向けて磁気駆動吹付を行っている。反応槽内圧 760mmHg でアーク駆動速度は10m/sになっていることを写真撮影により確めている。本稿3・

Scan 400 μ .
 $16 \text{ O}^+\text{CH}_4^+$ 17 OH^+ $18 \text{ H}_2\text{O}^+$

Fig. 12 Vertically time resolved spectra of H_2O^+ and others.

Fig. 13 Example of an intensity modulated two dimensional display of changing mass spectra.
 Changes in composition of arced SF_6 (Focused on the variation of SF_2^+ peak).

1にも述べた通り、MBS unit内で二次的反応が起る可能性があるがこれについては引き続き実験中である。

Fig. 12は、変化しているスペクトルの記録例ではないが、スペクトルをY軸方向に掃引した場合の例として示しておく。 H_2O^+ 付近のY軸方向時間分解写真であって、8段のStair-case voltageにより掃引するものである。カメラの等価コマ取速度は、この方法により、8倍に増加する。

Fig. 13は、特定数個のピークの変化をブラウン管上に

包絡線として描かせた場合の例である。 SF_2^+ ピークのアーク発生時の変化の包絡線を示したものである。横に輝線が走っているのは、各々、 SO_2^+ 、 SOF^+ に相当し、これらのピークが、アーク発生後ごくわずかの時間で発生、消滅していることを示している。ピーク包絡線のM/e相当位置と、Y方向振巾の零値の較正は、実験前に、定常スペクトルパターンに対して、自動的に行うようになっている。なお、この場合の測定条件はFig. 11と同一である。

5. 結 言

以上、主として我々が試作した装置の概要をのべた訳であるが、今後、試料導入系をさらに高性能のものに発展させ、アーク発生中、ならびにポストアーク期間における、アークの電気的特性とアーク空間の物理化学的性状の過度変化とを結びつけていきたいと考えている。また、分析計本体を少しく改造することにより、イオンーイオン、イオンー分子、分子ー電子、光子ー分子、光子ーイオン、イオンー電子間等の各反応についても基礎的に研究し、とくに SF_6 ガスに関して、しや断時重要な役割を果たす。 SF_6 ガスの *resonant electron capture*, *autodetachment* および *reattachment* とその他の再結合反応について、その機構を明らかにしていきたいと考えている。

最後に、本分析計ならびに試作した試料導入装置の設計、調整にあたり、終始有効適切な援助を与えられた、当所、伊藤、甲斐両博士、また、質量分析コロキウム席上、専門の立場から有益な助言と討論を与えられた、大阪大学教授、緒方惟一氏、大阪府立大学、市立大学の質量分析研究グループの各位に深謝する。

〔文 献〕

- (1) 潮、宮本：電気学会誌 **82**, 714, (昭37)
- (2) 潮、伊藤、宮本：三菱電機技報 **35**巻 No. 5, 31.
- (3) 潮、他：三菱電機技報 **34**巻 84号 1.
- (4) 潮、伊藤：電気学会誌 **80**, 1832, (昭35)
- (5) 潮、伊藤：電気学会誌 **81**, 440, (昭36) .
- (6) A. M. Cassie : *ERA. Technical Report GXT* /134.
- (7) T. E. Browne Jt. : *Transaction of American Institute of Electrical Engineering* **78**, 1508~1509 (1959).
- (8) H. Kopplin and E. Schmidt : *ETZ.* **80**, 805~811.
- (9) O. Mayr : *VDE Verlag, Berlin*(1958).
- (10) W. Spruth : *Arch. Electrotech.* **43**, 645~652 (1958).
- (11) E. Macker : *Z. fur Phys.*
- (12) W. C. Wiley et al : *Rev. Sci. Instr.* **26**, 1150 (1955); *Science* **26** oct. Vo 1124 No. 3226 (1956)
- (13) D. Edelson J. : *Phys. Rev. letter to editor* 917 (1917) .
- (14) G. Porter, : *Disc Faraday Soc.* **11**, 178 (1954).
- (15) F. G. Léger : *Cau. J. Phys.* **33**, 74(1955).
- (16) L. P. Blanchard : *Can. J. Chem.* **35**, 115 (1957). : *J. Chem. Phys.* **18** 383 (1950).
- (17) D. G. H. Mareden : *Rev. Sci. Instr.* **33**, No. 3 March 288, (1962) .
- (18) A. Kantrowitz. : *Rev. Sci. Instr.* **22**, No. 5 328, (part 1) .
Kistiakowsky, G. B. *Rev. Sci. Instr.* **22** No. 5, 333, (part 2).
- (19) G. C. Elteuton : *J. Chem. Phys.* **10**, 403(1942), **15**, 455, (1947).
- (20) S. N. Foner : *J. Chem. Phys.* **21**, 1374, (1953).
- (21) 川崎、後藤、他：真空、**3**, No. 3 96, (昭35)
後藤他：質量分析 No. 14, 21, (昭35—1)
- (22) Zapata R. N. : "Rarefied gas dynamics" p. 69-79 Pergamon, New York 1960 [Proceedings of the first international symposium].
- (23) Zapata R. N. : "Rarefied gas dynamics" p. 67-81 Academic Press New York (1960) [Proceedings of the second international symposium held at California].
- (24) Hurlburt : Paper US-5, *Bull. Amer. Phys. Soc. Series II* **3**, No. 1 (1958) .
- (25) 宮本、鎌谷、後藤：第3回真空に関する連合講演会予稿 20a—4 (1962).
- (26) W. Gucher : *ASEA Journal* 107, (1956).
- (27) H. W. Liepmann : *Aerodynamics of compressible fluid* (John Wiley and Sons) New York 1947.
- (28) L. Prandtl : *Aerodynamic Theory*, edited by W. F. Durand (Julius Springer, Berlin, 1934), Vol. III section(G) pp. 88—89.
- (29) M. Gotoh : *Mitsubishi, Denki Laboratory Report* **2**, No. 1, 71 (1961).
- (30) S. Chapman : "The mathematical theory of non-uniform gases".
- (31) M. F. Laranjeira : *Physica.* **26** 417~430(1960).
- (32) E. W. Becker : *Z. Naturforschg*, **12a**, 609~621 (1957) .
- (33) P. C. Watermann : *J. Chem. Phys.* **31** 405—419 (1959) .
- (34) K. Bier : *Z. Naturforschg*, **15a**, 714—723 (1960).
- (35) S. A. Stern : *J. Chem. Phys.* **33**, 805—813(1960).
- (36) Takaoka : 質量分析 No. 18 Oct. 123, (1961).
- (37) R. K. Curran : *Private communication.* 1962.
- (38) E. G. Léger : *Phys. Rev. letter to editor* (1953).
- (39) A. T. Forrester : *Rev. Sci. Instr.* **17**, No. 12 549, (1946) .