

電離真空計全体図

## 1. 序

実験室内においても工業上の諸問題にしても真空関係事項がその過程に含まれ、真空度を操作し或は測定する必要があることが多い。筆者の専攻範囲内に限つても、真空蒸着に於てはその真空度が蒸着膜の性質に影響を及ぼし、電子顕微鏡についても或程度以下の真空度では高圧保持が不可能となり影像の撮影にも種々の困難を生ずる。すなわち、真空度及び真空漏洩度の測定、指示及び操作は各種装置の保護及び取扱上又はその性能の向上、結果の考察に欠くべからざるものである。

電離真空計は一般にはアイオニと俗称されるが、本計器は被測定圧が  $10^{-8} \sim 10^{-9}$  mm Hg 程度迄も応用出来且つその精度も高い秀れたものである。

## 2. 高真空の圧力指示

真空度は通常水銀柱 760 mm を基準として指示され 1 mm Hg 以下は 10 をその幕とする数字で示される。工業上比較的低真空として用いられるものは大体  $10^{-3}$  mm Hg  $= 1.32 \times 10^{-6}$  atm. 程度であるが、近時はより高真空として  $10^{-5} \sim 10^{-8}$  mmHg 程度迄要求されることが多い。この範囲の真空計として有用な測定器は第1表の通りである。

第1表 各種型式の真空計及び測定可能限度

名 称	測定可能限度
電離真空計 (熱陰極型)	$10^{-9}$ mm Hg
クヌーデン分子衝撃型真空計	$10^{-6}$ mm Hg
マクレオド圧縮型真空計	$10^{-6}$ mm Hg
ピラニ熱線型真空計	$10^{-5}$ mm Hg
クライップス真空計 (冷陰極型)	$10^{-5}$ mm Hg
熱電対型真空計	$10^{-4}$ mm Hg
ラジウム源電離真空計	$10^{-3}$ mm Hg

第1表よりも明らかなように使用上好便なものは電離真空計である。これは特に高真空測定器として優れ、その範囲における特徴を列記すれば (i) 圧力指示の連続性、(ii) 較正曲線の直線性、(iii) 真空計に対し排気容量の小、(iv) 脱気面積の小、(v) 水銀或は真空油に対し反応せず、(vi) 各電極電圧の低い事等が挙げられる、それ故

## 漏洩検出装置を兼ねた

# 電離真空計

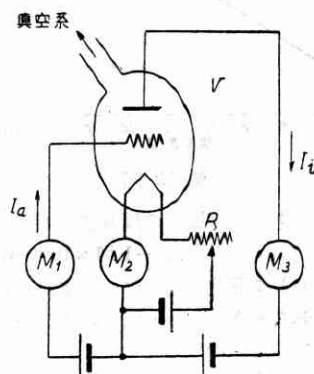
池谷 光 榮

高真空測定用として一般にも広く使用される電離真空計及び真空実験に必要な漏洩検出装置を組合せ、実際に使用に当つて出来るだけ取扱操作を簡便にするように回路構成を勘案した装置を試作したので、この装置及び特性を簡単に述べた。

に本計器は (vii) 取扱上電氣的回路の構成を要し、(viii) 較正を必要に応じて為す事等が要求されるにもかかわらず広く賞用される。電離真空計はその構成上絶対測定器ではなく他種の計器例えば McLeod 計、Knudsen 計のようなものにより較正を必要とする。これ等事項は特に確實且つ信頼度の高い測定を行うには相当の厳密を要するが、電氣的機械的構成に適當な考慮を払つて設計を行えば相当に軽減され或は除去し得るものである。

## 3. 電離真空計

本真空計の基本的構成を第1図に示す、三電極構成の熱陰極管であつて、それぞれフィラメント、アノード及びイオン・コレクターと称される。フィラメントよりアノードに流れる電子流は気体分子又は原子を電離し、陽イオンと電子とに分ち陽イオン電流を生ぜしめる。この陽イオン電流はコレクターに向い電流計により測定され次式に依り気圧が求められる：

V: 測定球  $I_a$ : アノード電流  $I_i$ : 陽イオン電流

第1図 電離真空計

$$p = \frac{1}{K} \frac{I_i}{I_a}$$

但し  $p$  は気体の圧力、 $I_a$  は電子電流、 $I_i$  は陽イオン電流で  $K$  は真定計による定数である。

この真空計の感度はアノードの陽極電圧、電子電流及び気体種類に關係する。数種の電子電流に就き測定した

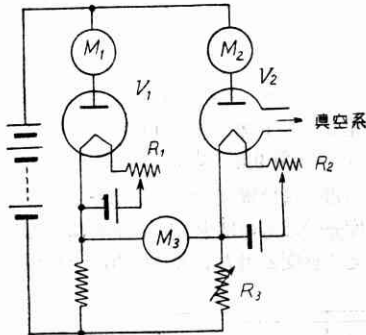
結果を真空度と比較すると何れも高真空では直線的関係を示し、且つその延長は原点を通過する。(後述)

#### 4. 漏洩検出計

本漏洩計の基本的構成を第2図に示す。図中  $V_1$  は高度に排気された漏洩のない標準球、 $V_2$  は漏洩のある被測定真空系に接続された何れも二極管構成の熱陰極管である。当初任意の測定開始状態にて通常  $V_1$ ,  $V_2$  を流れる電流を抵抗を変えて適当に調整、同一と為す。次いで真空系に漏洩が在り単位時間後真空度が変化すれば図中の各計器指示値に変化を生じその値を旧に復するには抵抗値を変化させることを要する。しかる時単位時間における漏洩は:

$$\begin{aligned} \text{漏洩} &= f_1(M_m) \text{ c.c./l.hr.} \\ &= f_2(R_m) \text{ " 等} \end{aligned}$$

但し  $M$  は各計器の指示値、 $f$  は指示系により決る函数であり単位時間は1時間に換算してある。



$V_1$ : 標準球  $V_2$ : 測定球  
第2図 漏洩指示計

この関係式は電離真空計のように単純ではなく熱陰極管よりの熱電子放射、フィラメントの放熱条件等に複雑に関連し簡単な直線関係は求められず、ある特定時の状態を順次求めておき図表的に求めるようにする。感度も真空度により変化し簡単な関係を求める事は困難である。

#### 5. 最近の電離真空計

最近に至る迄電離真空計の応用は、取扱いの困難と不便さのためにその使用範囲は研究室内に限られていたが、これは従来使用に際しては真空度に依り絶えず各電極の電圧、電流を調整して規定条件とし、陽イオン電流を検流計で測定し、後較正曲線より真空度を求める等の熟練を要し、且つ測定球も適当なものが見当らなかつた事による。近時一般に規格の定まつた測定用標準球(指示部分)が市販され、真空計自体も設計上便利なものが与えられるようになったが、これは電子管自動平衡回路及び測定用増巾回路の安定したものが得られるようになったことによるので、特に直流増巾回路を伴つた低電圧大電流回路の安定について種々の考慮を払つてある。

#### 6. 回路設計に際し考慮を必要とする事項

真空測定計器として操作するために計器の操作機構に必要な事柄は次の通りである:

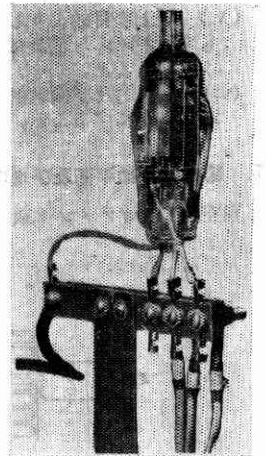
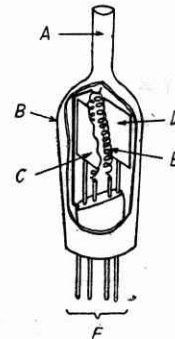
(i) 熱電子放射を求めるためにフィラメントを加熱すること。

(ii) アノードに対し正電圧、コレクターに対し負の電圧を与えること。

(iii) アノードに流れる電子電流を抵抗で適当に調整し且つ測定すること。

(iv) コレクターに流れる陽イオン電流を測定すること、等。

従来は電離真空計に市販の三極真空管を流用したが、これは構造複雑のため寸法規格の厳密なものが求難く且つ酸化物陰極が用いられているため、空気中にさらせばその電子放射能率が変化或は低下し寿命も短かく陰極の取換えも困難である。近時平衡型或はフォーゲル型と称される真空計が用いられるようになったが、この型式では構造極めて単純且つ各部の寸法が容易に確立されるため、較正をおのおのの測定球につき求めなくても感度に信頼がつけフィラメント交換も可能である。構造を第3図に示す。



A: 真空引口への取付口  
B: 本体 C: アノード  
D: イオンコレクター  
E: フィラメント  
F: 導線第3図(a) 電離真空計測定球

第3図(b) 測定球取付状況  
リード引出し部分はポリスチレンで埋没し絶縁抵抗を高める。

筆者の使用品は昭和理化学機械株式会社製で、その要目は第2表の通りで第4図に実測した感度曲線を示す。

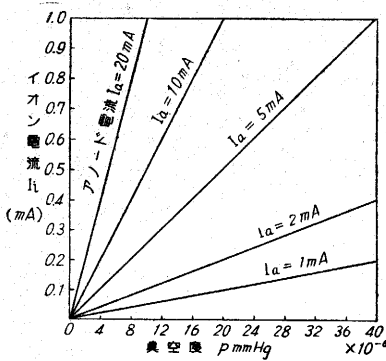
第2表 フォーゲル型真空計要目

真空計名称	陽極電流	イオン電流	指示圧力	形状
フォーゲル型	20 mA	1 $\mu$ A	1 $\times 10^{-5}$ mmHg	ST型

電気回路構成上特に注意を要する事項は次の通りである:

(i) 電子電流を充分一定に保持する事。

(ii) 各電極電圧を一定に保持する事。これは直ちに電離確率、更には感度に影響を及ぼす。

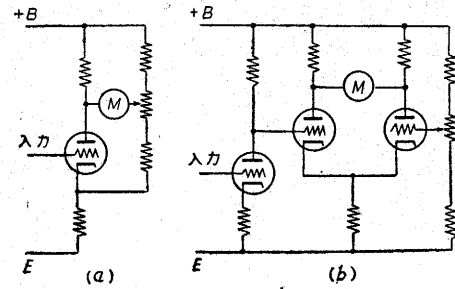


第 4 図

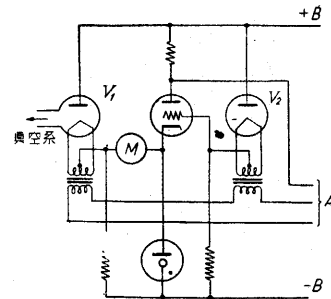
- (iii) 測定範囲の限定並びにこれに附随する指示範囲の極限, 所要測定範囲を  $1 \times 10^{-9} \sim 10^{-8}$  mm Hg とする時, 使用測定球を市販品に求めてこの範囲に納まる必要がある。筆者の場合最高  $0.03 \mu A$  でフルスケールとなる。
- (iv) 真空漏洩検出器と電離真空計との切換えを容易にして同一測定球にて為し得るようにする事。
- (v) 同上の目的よりしても特に真空の破れた場合にもフィラメント消耗或は焼損を出来る限り避けるようにすること。
- (vi) 電氣的及び衝撃的変動があつても動作が安定になるようにすること。

## 7. 電氣的自動平衡及び増巾指示回路等

真空管のフィラメント或はヒーター電源のような低圧

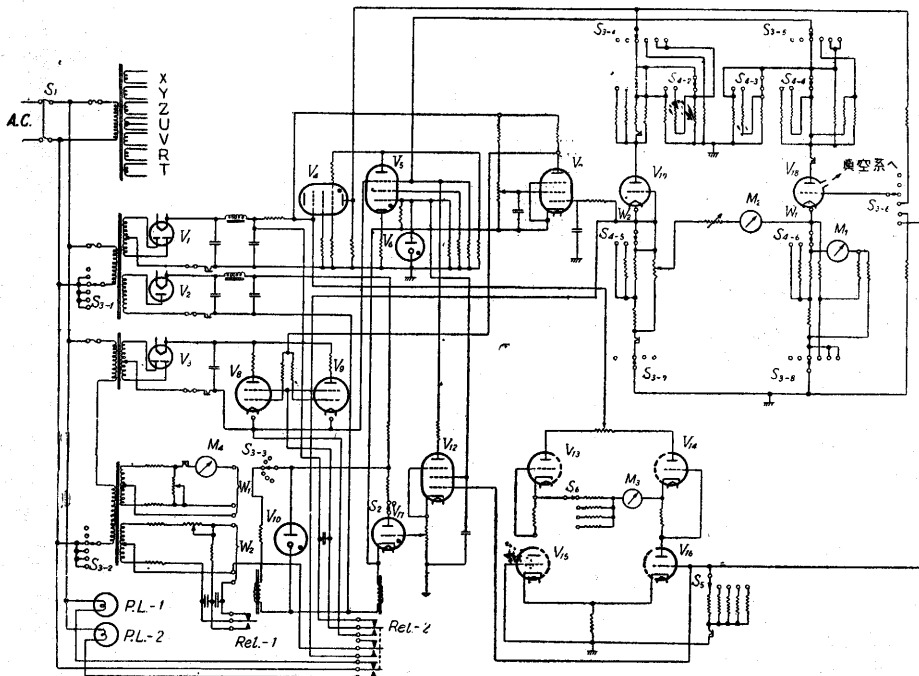


第 5 図 (a), (b) 直流増巾例  
M: 指示計器



V<sub>1</sub>: 測定球 V<sub>2</sub>: 標準球 A: 電子電流安定回路  
第 6 図 漏洩指示器

大電流時の電圧或は電流安定装置は各種考察されているが, 安定度充分なものは少ない。筆者は時定数の大きくなるを敢えて感度と出力増大のため, 一旦整流後ビーム



本図においては漏洩指示計としての使用状態を示す。なお図中の記号は本文及び第 8 図と対応する。 S<sub>1</sub>: メインスイッチ S<sub>2</sub>: 保護回路開閉用スイッチ S<sub>3-1</sub>~S<sub>3-8</sub>: 4 段 8 回路 6 接点主回転スイッチ S<sub>4-1</sub>~S<sub>4-6</sub>: 3 段 6 回路 3 接点スイッチ S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>: 感度調整スイッチ V<sub>17</sub>: 漏洩指示用標準球 V<sub>18</sub>: 真空測定球 M<sub>1</sub>: 電子電流指示 M<sub>2</sub>: 漏洩指示 M<sub>3</sub>: 真空度指示

第 7 図 回路図

出力管をインピーダンストランスの二次側に使用した。(第7図及び第11図参照)

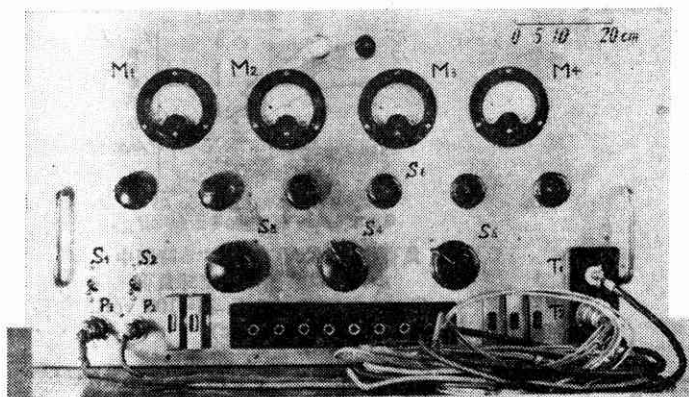
イオン電流のような微小電流の増巾回路も種々発表されており、第6図に数例を示す。電源電圧の変動によるA又はB電圧の変動に対して零点及び感度の変化しない完全な補償回路を要し各対の真空管に特性の一致した組を採用せねばならぬ。筆者は同一時期に同一条件で同一材料を使用製作した双三極管中それぞれの特性の合致したものを求めて使用した。なおこの回路では増巾器のコンダクタンスは真空管の直互コンダクタンスよりも小であるが、陰極回路の負饋還作用により動作は安定である。(第7図及び第14図参照)

真空漏洩検出に用いられる回距を第6図に示す。

以上に示した諸回路は何れの場合でも、もちろん適当な整流回路及び電離真空計等として用いた場合におけるアノード電流の変動分を増巾、抑制せしめる負饋還回路を伴うのは当然である。

## 8. 真空計の構成

実際の設計製作に当つては、その要目決定前に相当の基本的計算、基礎実験或は比較実験を行うのは当然であるが、ここには紙面の都合上各部分の回路図及び実物の構造を表す写真を示す。(第7図及び第8図)



第8図 試作電離真空計正面

第7図は電離真空計及び真空漏洩検出装置を組合せた回路図の詳細を示し、第8図に正面の写真を示す。形状は出来るだけ小にし且つ取扱いを便ならしめるため、調整或は操作すべき箇所を少なくするように考慮して設計した。第7図及び第8図によつて使用時の操作法を少しく説明すれば、 $S_1$ は主電源スイッチで、同時にこれにより各真空管のヒーター回路は閉じる。 $S_3$ は6段の回転式主スイッチで、各接点における動作状態は第3表に示す通りである。 $S_4$ は3段の回転式スイッチで、電子電流—アノード電流を特定値に規定し、この電流は $M_1$ で示される。 $S_5$ 及び $S_6$ は何れも感度変更用の回転式スイッチで、 $S_4$ では同様に考えられる。この動作状態を第4表に示す。 $M_2$ は真空漏洩計用、 $M_3$ は電離真空計用、又 $M_4$ はフィラメント電流の指示用、 $S_2$ はフィラメント保護回路の開閉用、 $P_1$ 、 $P_2$ は何れも真空測定球との接続用である。

第3表 六段回転式主スイッチ  $S_3$  の接点位置と動作状態\*

接点位置	回路の動作状態
1	電源 A 回路
2	電源 B 回路
3	真空漏洩検出計
4	アノード及び陽イオンコレクターの脱気
5	電離真空計の零点調整
6	電離真空計

\* 八回路の各接点の開閉をこの一連のスイッチで一動作で行う。

第4表 (a) アノード電流調用スイッチ  $S_5$  の接点位置と動作状態

接点位置	アノード電流*
1	1 mA
2	5 mA
3	20 mA

\* 漏洩検出計として使用する時は標準球の電子電流が上記に規定される。

第4表 (b) 感度調整用スイッチ  $S_4$  の接点位置と動作状態

接点位置	グリッド・リーク抵抗値	1 $\mu$ A に対する電圧降下
1	3.3 M $\Omega$ *	3.3 V
2	1. M $\Omega$	1. V
3	0.33 M $\Omega$	0.33 V
4	0.1 M $\Omega$	0.1 V
5	0.033 M $\Omega$	0.033 V

\* この値は特別な場合を除き使用しない。(第5表参照)

第4表 (c) 感度調整用スイッチ  $S_6$  の接点位置と動作状態

接点位置	直列抵抗	フルスケールと為すに要する入力電圧
1	117. K $\Omega$	1. V
2	56. K $\Omega$	0.5 V
3	32. K $\Omega$	0.3 V
4	8.2 K $\Omega$	0.1 V

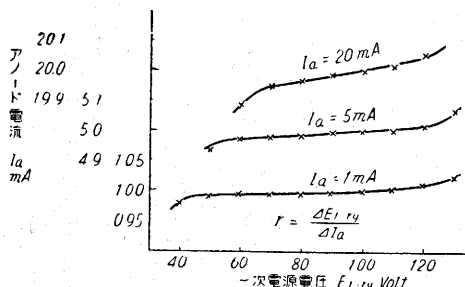
この回路にインピーダンス・トランスの二次側に蓄電器入力式の水銀蒸気入整流管を使用した整流回路と組合はせてビーム出力管を採用した事等は、各真空管の規格及び計算の結果より考慮したものである。詳細な計算結果は省略する、特に要点としては整流回路、蓄電器入力式の採用、B電源の電圧、電流の安定化等であり、アノード、コレクターの脱気法も適当に考慮してある。



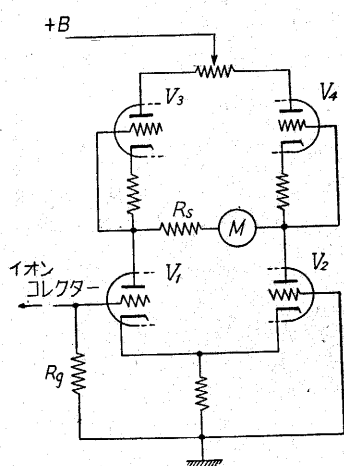
験をさして行っていないので、真空漏洩検出計としての性能に言及する事は避けるが、計算によつても求められる。なお変化率は大体 0.15~0.5 である。

(v) 直流増巾回路の特性及び真空の測定可能範囲

真空管は使用球数、管の特性、構造その他を考え、特性の良く合致した **6F8G** を二本使用、これは特に微小イオン電流増巾の關係上絶縁に考慮して **ST** 管を使用した。(第5表)\*

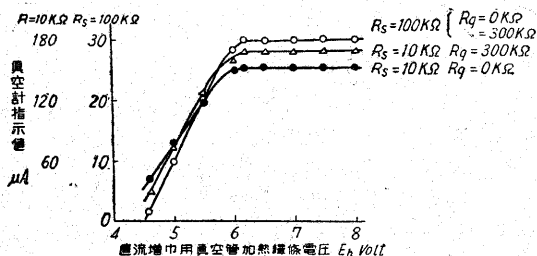


第 12 図 電源電圧の変動に対する定電流回路の安定度



$V_1, V_2; V_3, V_4$ : 何れも双三極管の  
 一対  $R_g$ : 陽イオン負荷抵抗兼  $V_1$   
 格子漏洩抵抗  $R_s$ : 感度較用直列  
 抵抗  $M$ : 指示計

第14图(a) 直流增巾回路

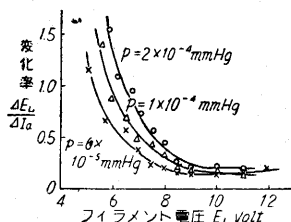


第15図 電源電圧に対する零点の変化  
但し基準電圧は  $E_{A.C.}:E_h=100:6.3$

## 10. 結 言

重要な事項で記載を省略した箇所も多く特に回路解析は総て省いたが紙数の都合上やむを得ない。

欄筆に当り本真空作製に際し御指導並びに御便宜を仰いだ当所第1部谷教授、江口、富永両助教授、第2部河村教授、松永助教授、荻生手、内藤両助手、日本電子光学研究所高橋、唐沢両氏に厚く御礼申上げる。(1952.12.12)

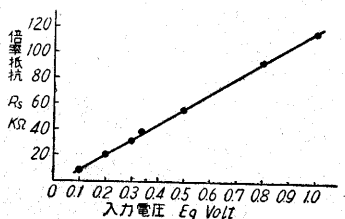

$$\frac{\Delta E_L}{\Delta I a} = \text{測定球の真空度による内部抵抗を表わす。}$$

第 13 図 真空度による電子電流の変化

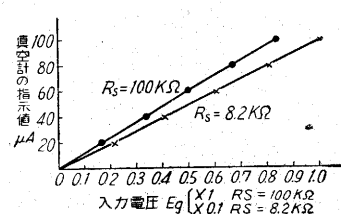
\*増巾特性を第 14 図に示すが使用範囲においては充分直線的である。

上記数値より測定の上、下限を求めれば第6表のように  $p=1.5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-8}$  mm Hg なる値を得る。

一次電源電圧の変動に対する指示の変化を第15図に示す。これは傍熱型真空管の陰極、加熱織条間の熱的、電気的平衡及び電子放射の状態が崩れるため避け難いが、温度平衡の変化に起因する故電源電圧の緩慢な変動に対してのみ影響を受け、数十分以上の長時間連続測定時に限り考慮を要し通常の測定には影響を与えない。



第 14 図 (b) 特定入力電圧にて真空読指示をフルスケールにするために要する倍率抵抗値



第 14 図(c) 入力電圧に対する増  
巾器の特性

第 5 表 RCA 規格に依る 6F8G 動作特性例\*

項	目	動作規格
陽極電圧		250 V
制助格子電圧**		-8 V
増巾率		20
陽極抵抗		7700 $\Omega$
相互伝導度		2600 $\mu\Omega$
陽極電流		9 mA
同上 10 $\mu A$ に対する格子偏倚電圧		-18 V

\* 6F8G は 6J5 相当管が二組封入された ST 型管である。

\*\* 最大規格で使用する場合格子回路の直流抵抗値は  $1M\Omega$  以内なる事を要す。

第6表 測定可能の上, 下限真空度

陽イオン電流	同負荷用格子抵抗	入電圧	感度用直列抵抗	計指示値	器值	真空度
0.001 $\mu A$	1 M $\Omega$ *	0.001 V	8.2 k $\Omega$	1 $\mu A$ **		1. $\times 10^{-8}$ mm Hg
30. $\mu A$	0.033 M $\Omega$	1. V	117. k $\Omega$	100 $\mu A$		1.5 $\times 10^{-8}$ mm Hg

\*  $3.3\text{ M}\Omega$  の抵抗値を使用すればなお感度は向上するが動作特性上好ましくない。

\*\* フル・スケール  $100\mu A$  の目盛にて  $1\mu A$  迄読取るものとする。