

# APS スペクトル収録用デジタル・レコーダ

小西亮介\*・渡部健治\*\*・加藤益\*

(1978年5月31日受理)

## A Digital Data Recording System for Appearance Potential Spectroscopy

by

Ryōsuke KONIHI, Kenzi WATANABE and Susumu KATO

(Received May 31, 1978)

A digital recording system has been constructed for data processing of Appearance Potential Spectroscopy. The system consists of signal block, target potential block, counter block, staircase wave sweep block and printer block. As an example, the  $L_3$  and  $L_2$  spectra of pure chromium are shown using this digital recorder. The spectra were good agreements with the one obtained by usual X—Y recorder.

### 1. はじめに

APS法 (Appearance Potential Spectroscopy; 軟X線出現電圧分光法)<sup>1,2)</sup> においてはX線発生装置の対陰極電圧 (I) を測定する。Iは微小なうえに試料物質の物性あるいは電子回路の特性上避けられない各種のノイズを多く含んでいる。その中から必要な信号を精度よく選り出し、得られたデータに更に各種の演算を行なって<sup>3)</sup> 物性研究上有用な情報を得る。従って I, E のアナログ測定値を十分な精度で求めた後、デジタル化、計算機処理に適した形にする必要がある。測定の S/N を向上させるために、これまで

- a) ロック・イン・アンプによって位相検出する方法<sup>4)</sup>
- b) 検出電極を大きくしてX線の検出効率を高くする方法<sup>5)</sup>
- c) 信号をデジタル化した後に記憶させ長時間の測定値を利用する方法<sup>6)</sup>

d) 検出器を液体窒素温度に冷却し雑音の発生を抑える方法<sup>7)</sup> 等が考案された。

われわれは E を一定間隔  $\Delta E$  ごとに設定し得られた I を周波数変換によってデジタル化しその後カウンタ加算による積分を行ない、S/N の向上とデータの安定化によって以後の計算機処理を容易に進められるシステムを試作した。ディスプレイはデータの定量化や後の演算の事を考え、信号 I を 6 桁、対陰極 (試料) 電圧 E を 4 桁の表示とし印字する。

### 2. 動作原理

検出器と信号の処理回路は Fig. 1 のような構成になっている。試作したデータ・レコーダはこの微分スペクトルをデジタルデータとして記録する。試料電圧を  $\Delta E$  ごとに区切りその時の出力電流をデジタル化する。この時 1 個のデータのサンプリング回数を  $n$  とすると S/N

\* 電子工学科

\*\* 現在：船井電機株式会社 (大東市)

は $\sqrt{n}$  に比例して改善される。ここでは  $n$  を  $10^4$  としている。

全体の回路ブロック図を Fig. 2 に示す。構成は信号ブロック、試料電圧ブロック、カウンタブロック、階段波スイープおよびプリンタからなる。測定時のタイミングチャートを Fig. 3 に示す。ここで微分スペクトルを測定するときはラッチ・パルスの後各カウンタをリセットする。スペクトルを加算積分する場合はリセットせず前のデータに直接加算する。この時ラッチ、リセットの間はゲートをオフとし、その間に電圧制御パルスによって  $\Delta E$  だけ試料電圧を上昇させる。

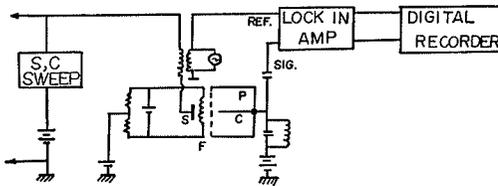


Fig. 1 Measurement system of Appearance Potential Spectroscopy.

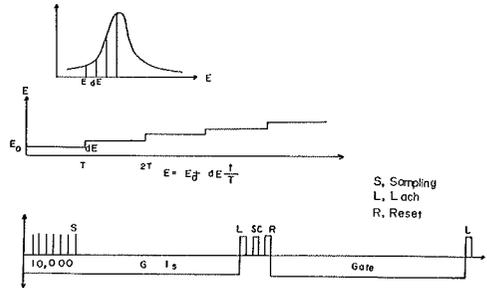


Fig. 3 Timing chart of digital recorder.

2-1 各ブロックの構造

(a) 信号ブロック

Fig. 4 に信号測定回路を示す。初段プリアンプは利得 $10 \sim 10^4$  倍までの切換えをもつ反転増幅器である。サンプルホルダはボルテージフォロワを通してホールド用のコンデンサにチャージさせる。サンプル用のアナログスイッチには FET を用いてサンプリングを行っている。次の C-F コンバータは積分回路と単安定回路とからなり、入力電圧に比例した周波数が得られる。この回

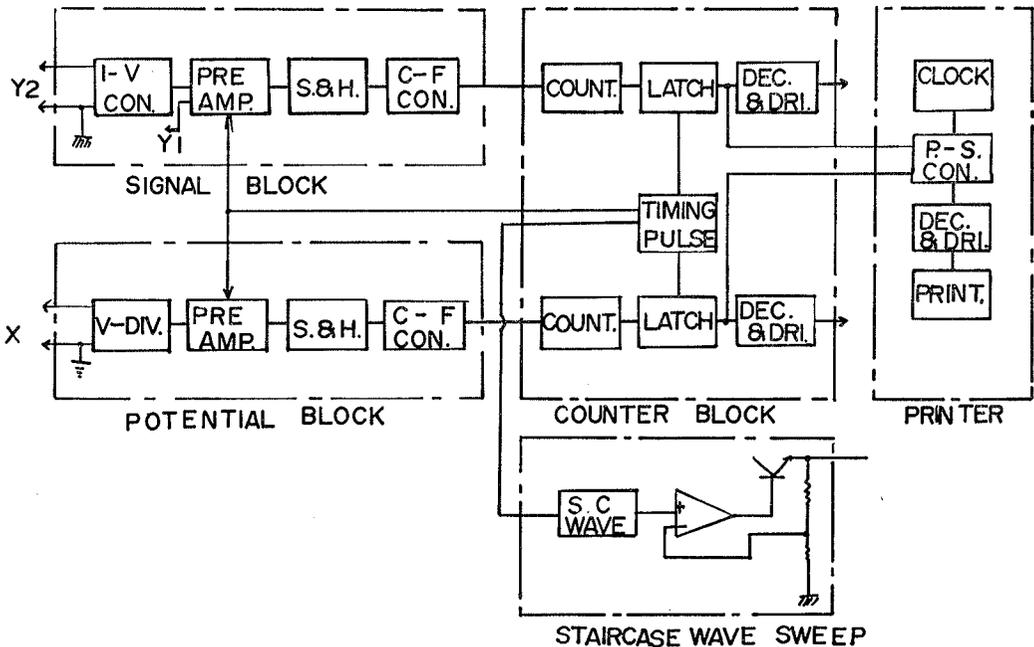


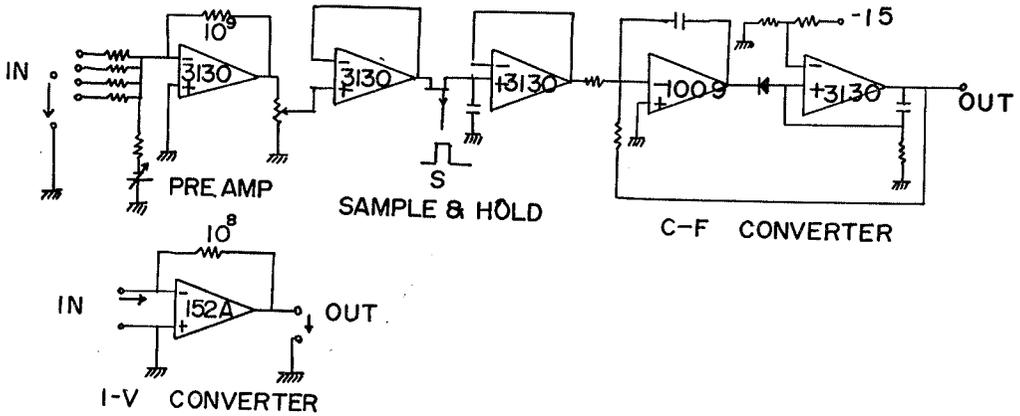
Fig. 2 Block diagram of the digital recorder.

路は測定精度を大きく左右するので部品選定には注意が必要である。

(b) 試料電圧ブロック

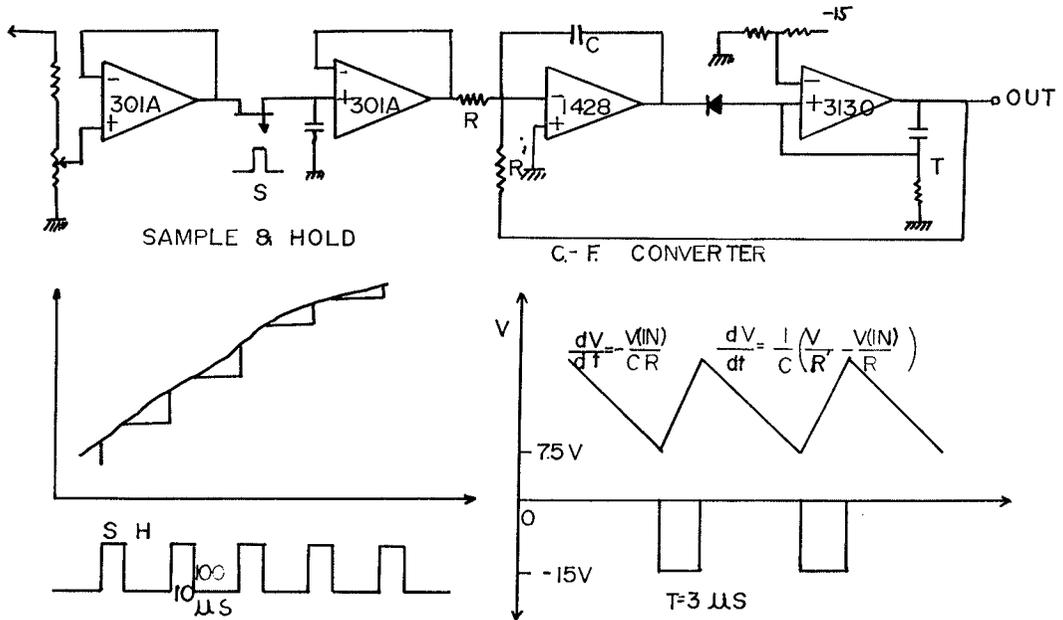
Fig. 5 に回路図を示す。

信号測定回路と同じ構成で入力回路は入力 1kV に対し 0~10V の範囲の電圧となるよう分圧している。またサンプルホルダは入力に変調信号を含む事も考えられるので 100kHz まで無歪となるよう、コンデンサ、オ



SIGNAL BLOCK

Fig. 4 Signal block.



POTENTIAL BLOCK

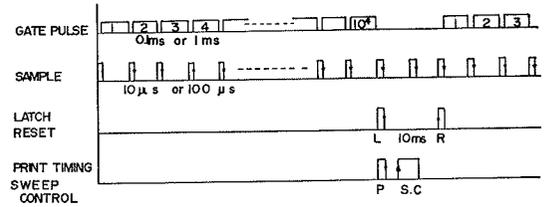
Fig. 5 Target potential block.

ペアンプなどの部品選定に注意する必要がある。サンプリングモード、ホールドモードはそれぞれ $10\mu\text{s}$ ,  $100\mu\text{s}$ である。

(c) カウンタブロック

信号処理および試料電圧処理回路で入力電圧に比例したパルスに変換された信号はカウンタ回路で処理しディスプレイされる。カウンタ回路図を Fig. 6 に示す。この回路はクロックパルス発生、各タイミングパルス発生を信号および試料電圧用のカウンタ、ラッチ、デコーダ、ドライバから成っている。タイミングパルス発生のタイミングチャートを Fig. 7 に示す。ここで発生するパルスはサンプリングパルス、ラッチパルス、リセットパルス、ゲートパルス、プリンタ・タイミングパルス、電圧制御パルスであり外部よりスイッチなどによってスタート、エンドを制御する。

信号用カウンタは 6 桁浮動小数点としている。まず入力パルスはゲートされた分周回路へ送られる。この分周回路は小数点位置に応じて分周比を変更して主力カウンタへ送る。主力カウンタはカウンタ、ラッチ、デコーダ・ドライバを統一した LSI (SN 74143) を用いている。試料電圧用カウンタはそれぞれカウンタ、ラッチ、デコーダドライバ用の LSI を使い 4 桁としている。その他試料電圧パルス、サンプリングパルス、電圧制御パ



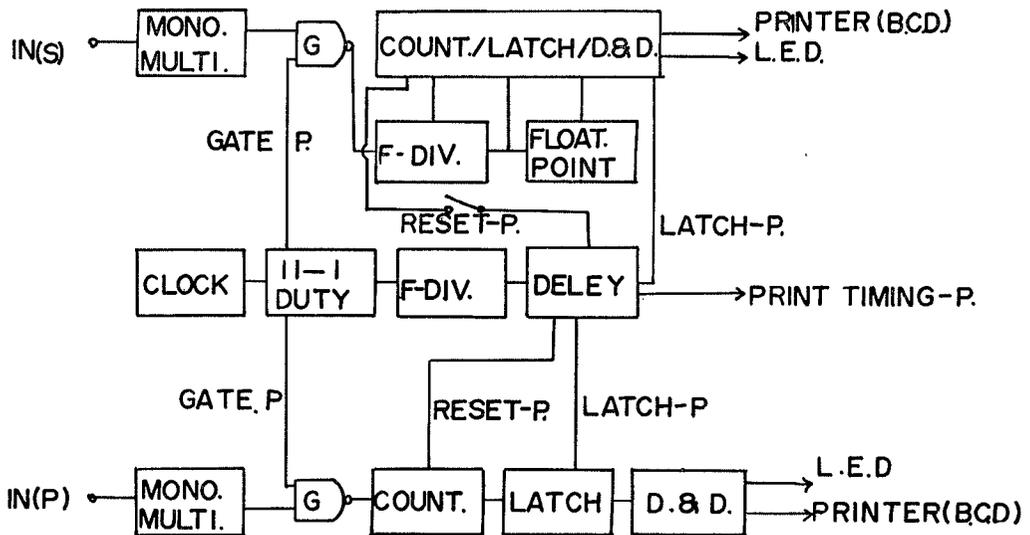
COUNTER TIMING CHART

Fig. 7 Timing chart of counter block.

ルス (S.C パルス), S.C からのエンドパルスはアースレベルが違うのでフォトカプラとパルストランスを用いてレベル変更を行ない、波形整形して誤動作防止を行なっている。出力としては各カウンタとも LED 7 セグメント表示器で表示し、プリンタへの出力としてはバイナリ、コード・デシマル (B. C. D) パラレル出力をとりだしている。

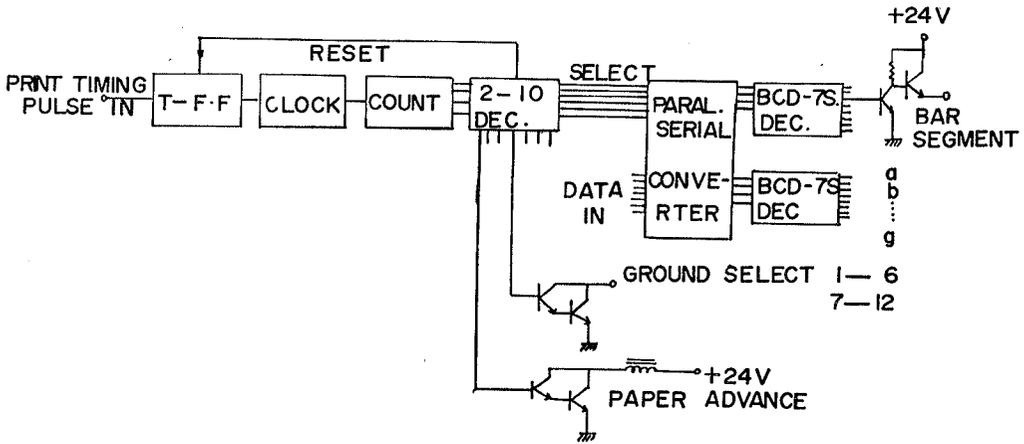
(d) プリンタ・ブロック

カウンタブロックで得られたデータはこのプリプリンタによって記録される。ここで用いたのは電卓用のプリントメカニズムであり、10 桁の 7 セグメント型の表示となる。プリント方式はサーマルプリント方式であり、用紙、プリント入力はそれぞれ規格のものを使用した。こ



COUNTER BLOCK

Fig. 6 Counter block.



PRINTER BLOCK

Fig. 8 Printer block.

のプリンタはシリアルプリントであるから B.C.D. の 10桁分のパラレル入力をクロックと同期したパルスでシリアルに変換している。ブロック図およびタイミングチャートを Fig. 8, Fig. 9 に示す。このプリンタは将来テープパンチャーと置きかえられる事も考慮して本体とは別ケースに組み込まれている。

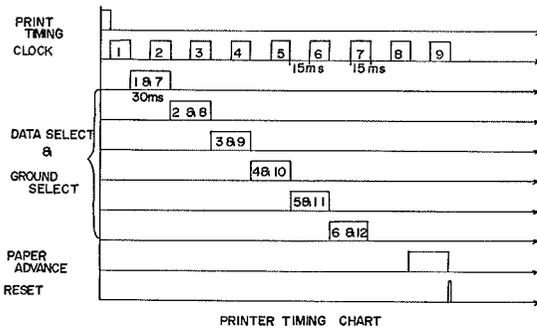
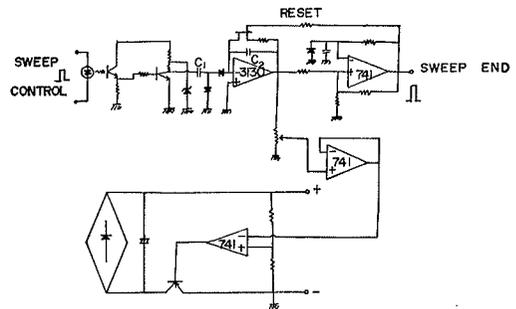


Fig. 9 Timing chart of printer block.

(e) 階段波スイープ・ブロック

この回路は試料電圧をデータレコーダによって制御し  $\Delta E$  ごとの一定間隔のデータを得るためのスイープ電源の変形である。回路図を Fig. 10 に示す。原理としては基準電圧に階段波を用い、差動増幅、制御回路からなる安定化電源である。基準電圧の階段波はデータレコーダからのパルスをもとにフォトカプラでアースレベル変換を行ない 5V のパルスとして整形入力コンデンサにチャー



STAIRCASE WAVE SWEEP BLOCK

Fig. 10 Staircase wave sweep block.

ジする。次にパルスの立ち下がりに応じて入力コンデンサから電荷がくみ出されるが、ダイオードのアースレベル側が不導通のためその電荷は積分コンデンサからくみ出されパルスの立ち下がりに応じて1段づつ出力電圧が上昇する。

3. 測定結果

検出方法は従来から用いられている方法であり、試作したレコーダをロック・イン・アンプの出力に接続し微分スペクトルおよびその加算スペクトルを測定した。測定に用いた試料は純粋な Cr (99.995%) で電解研磨の後、超高真空中にセットしスパッタリング、アニーリングを行った。測定条件は次の通りである。

試料 Cr (99.995%)

エミッション 6.0mA  
 スイープ速度 0.1V/sec.  
 測定範囲 550eV~600eV  
 レコーダ・ゲイン 40db  
 変調周波数 5.5kHz  
 変調振幅 0.5Vr.m.s, 1.0Vr.m.s, 2.0Vr.m.s.  
 ロック・イン・アンプ入力感度 100 $\mu$ V

変調振幅 2.0Vr.m.s. のときの Cr の  $L_3$ ,  $L_2$  スペクトルを Fig. 11 に示す。また積分スペクトルを Fig. 12 に示す。Fig. 11 は従来 X-Y レコーダを使用して得られた結果と同様のスペクトルを示している。また積分スペクトルはバックグラウンドの傾きを直線近似し、その直線に対する増減をプロットした。このバックグラウンドを直線近似した積分スペクトルは高エネルギー側にある傾きをもった増加が観察される。これは自由電子に近い 4s 電子の状態密度が寄与していると考えられるが Grant 等<sup>9)</sup> はその傾きはスペクトルに寄与する原子密度に比例すると考え定量化の試みを行っている。しかしバックグラウンドは軟 X 線領域では直線よりも電圧の 1.15 乗に比例するという報告もなされている。<sup>9)</sup> 我々の実験データからバックグラウンドをこの値で補正してやるとスペクトルの高エネルギー側に傾斜は存在しなくなる。微分スペクトルと積分スペクトルのしきい値はよい一致を示している。積分スペクトルのしきい値は変調振幅を 1.0Vr.m.s. と 2.0Vr.m.s. で行った結果では 2.0Vr.m.s. の方が低くなる。これは微分スペクトルでも同様変調振幅値を補正することによって一致した値が得られる。

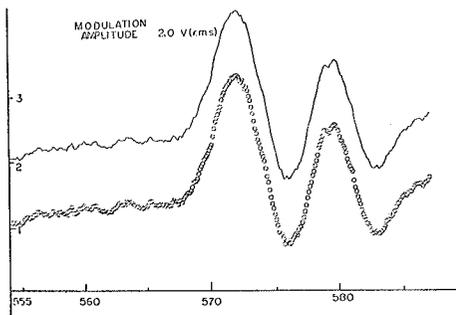


Fig. 11 The  $L_3$  and  $L_2$  spectra of pure chromium obtained by using the digital recorder.

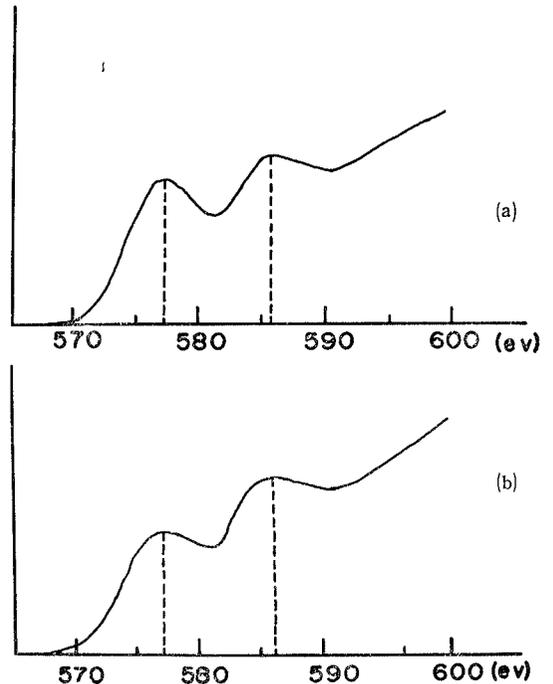


Fig. 12 The integrated spectra of chromium shown in fig. 11.

(a) modulation amplitude 1.0 Vr.m.s.  
 (b) modulation amplitude 2.0 Vr.m.s.

#### 4. 結果の検討

このデジタル・レコーダの精度とドリフトに関して試料電圧 5.00V に対して校正した市販のデジボル (タケダ理研) 表示と製作したレコーダ表示に差は認められなかった。しかし信号測定の下 2 桁と試料電圧の下 1 桁は直流入力 5.00V に対してばらつく。より正確なデータを要求する場合には更に精密な校正および部品の温度ドリフトを考慮すべきである。ただカーブ・プロッタを用いてデータ処理をする場合には現在確保している精度で十分実用になると思われる。交流入力に対して正弦波入力およびバイアスをかけた結果、信号測定では 3.10V のバイアスをかけ 50~2 kHz (0V~2.50Vr.m.s.) の正弦波入力の場合  $\pm 1\%$  の誤差内で動作した。電圧制御回路は短時間数十分程度では安定であるが長時間になるとオフセットがずれて最大 5mV/sec. の出力ドリフトが見られた。これは使用したオペアンプ用電源のドリフトや制御用トランジスタの発熱により回路部品の温度ド

リフトなどの影響によると思われる。しかし通常使用している場合データ中でのドリフトは認められないから問題とはならない。さらに今後制御電圧範囲を拡大したりより安定な電圧を得るためには D-A 変換による制御や、ロータリ・リレーなどを使用した方法を考慮すべきである。

プリンタ回路はその機構上ノイズ源とならないよう注意したが現在のところ、他の機器に悪影響は現われていない。またプリント時間も十分な早さであり温度上昇もほとんど認められない。ただ注意すべき点は何らかの誤動作によりプリント中にクロックパルスが停止した場合、サーマルプリント方式のため異常に過熱して断線やヘッドの部分焼き切ることがある。サーマルプリントの弱点として温度変化に対してプリント状態が変化する事があげられる。0°C の場合と50°C の場合では相当の状態変化がみられる。通常 10°C~30°C の間ではそれ程問題はない。

実験結果については 3. 測定結果 で報告したように Cr の  $L_3$ ,  $L_2$  スペクトルの形状はこれまでに X-Y レコーダを使って測定した形状と基本的に一致する。0.5V, 1.0V, 2.0V の 3 種の変調振幅に対しピーク強度が 1, 1.7, 3.0 となっており信号量が変調振幅とともに増大している。試料電圧に関して  $L_3$  ピークが 570eV 付近に  $L_2$  ピークが 580eV 付近にみられる。積分データにおいてはピークの頂点の位置はピーク間隔より変調振幅が十分小さい時は変調振幅には影響されないと考えられる。

## 5. おわりに

このシステムは APS 用として試作したものであり図

に示すように必要なデータが十分な精度で得られるが応用し得る範囲は APS に限らずかなり広いものと思われる。一般に掃引電圧 E を時間とともに変化させ  $\Delta E$  おきに、電流 I を測定しデジタル化してプリントおよび計算機処理を行なう実験に使用することが可能である。特に入手容易な市販の電子部品のみを使用して比較的簡単に製作し得る点が長所であると思われる。

## 参 考 文 献

- 1) 加藤益：応用物理 **43** (1974) 360.
- 2) 加藤益, 小西亮介：応用物理 **47** (1978) 339.
- 3) 小西亮介, 桐林新一, 国川憲英, 加藤益：真空 **18** (1975) 473.
- 4) R. L. Park, J.E. Houston and D.G. Schreiner : Rev. Sci. Instr., **41** (1970) 1810.
- 5) A. Kluge : Rev. sci. Instrum., **46** (1975) 1179.
- 6) J. Verhoeven and J. Kistenmakor : Surface., **50** (1975) 388.
- 7) S. Anderson, H. Hammarqvist and C. Nyberg : Rev. sci. Instrum. **45** (1974) 877.
- 8) J.T. Grant, T.W. Haas and J.E. Houston : Proc. 2nd Internat. Conf. on Solid Surfaces, Kyoto, 1974, Japan. J. appl. Phys. Suppl. 2. Pt. 2, p. 811.
- 9) R. Nable and L. Jacol : Nature. **178** (1956) 841.