

# カーブ・トレーサ入門

半導体測定の実理から応用まで

半導体デバイスのV-I特性をリアルタイムかつ手軽に観測できる計測器として、カーブ・トレーサは欠かせないものになっています。

このカーブ・トレーサ入門では、これからカーブ・トレーサを使おうとする電子技術者の方を対象に、動作原理、各コントロールの役割などの基本をわかりやすく解説しています。

## 目次

### 1. 電流対電圧特性

---

- 1-1) 抵抗
- 1-2) ダイオード
- 1-3) ツェナー・ダイオード
- 1-4) バイポーラ・トランジスタ
- 1-5) FET
- 1-6) その他

### 2. カ - ブ・トレーサの動作原理

---

- 2-1) ブロック・ダイアグラム
- 2-2) タイミング・ダイアグラム
- 2-3) 特性曲線

### 3. 日本テクトロニクスのカーブ・トレーサ

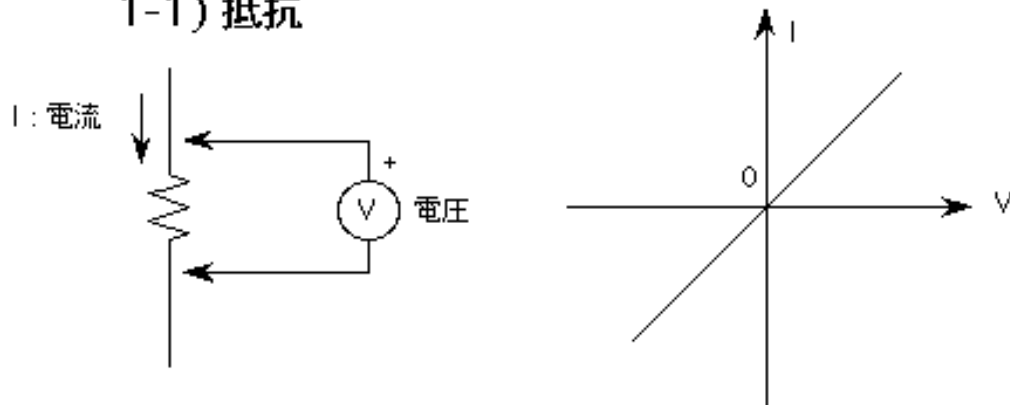
---

- 3-1) はじめに
- 3-2) ブロック・ダイアグラム
  - a) コレクタサプライ
  - b) ステップ・ゼネレータ
  - c) 電力制限抵抗
  - d) ケルビン・センシング
  - e) DC オフセット
  - f) ルーピング・コンペンセーション
  - g) コンフィギュレーション
  - h) 垂直軸増幅器
  - l) 水平軸用アッテネータ
  - J) 水平軸増幅器
- 3-3) 370A 型カーブ・トレーサの特徴

## 1. 電流対電圧特性

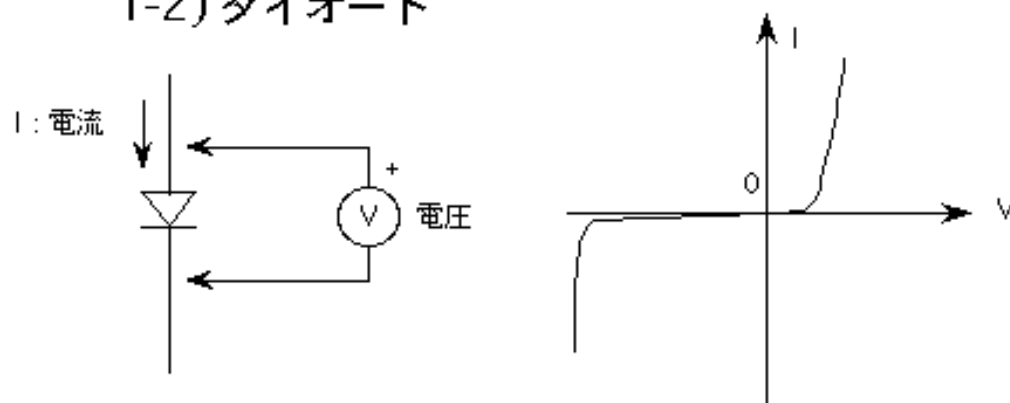
ほとんどの電子デバイスは、その電流対電圧特性によって評価されます。  
そのうち、静特性と呼ばれる比較的定常状態に近い測定の例を以下に示します。

### 1-1) 抵抗



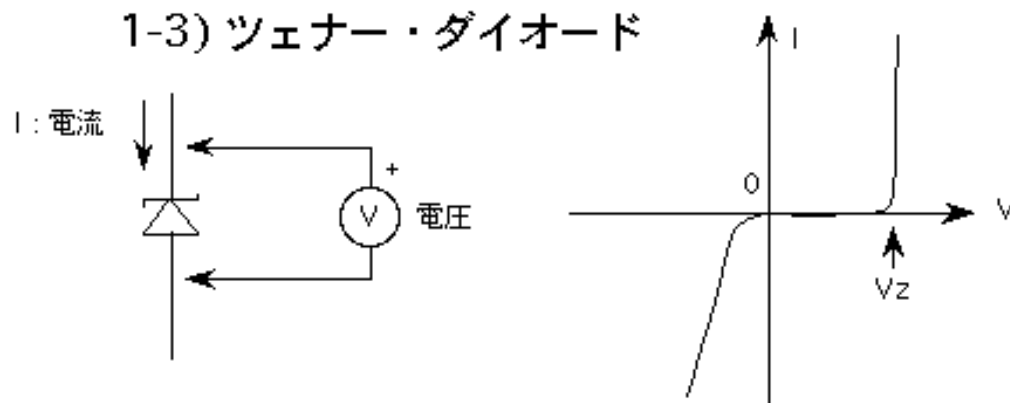
特性カーブはリニア（直線的）となります。

### 1-2) ダイオード



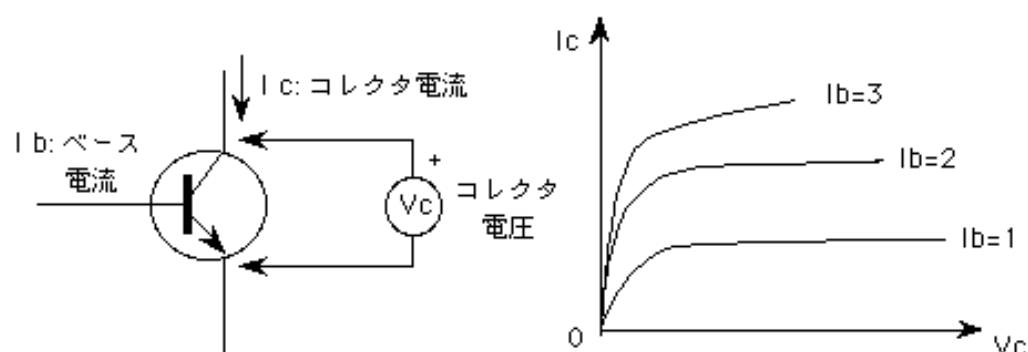
正方向は指数関数的、負方向はある点で  
ブレイク・ダウンを起こし電流が流れ初めます。

### 1-3) ツェナー・ダイオード



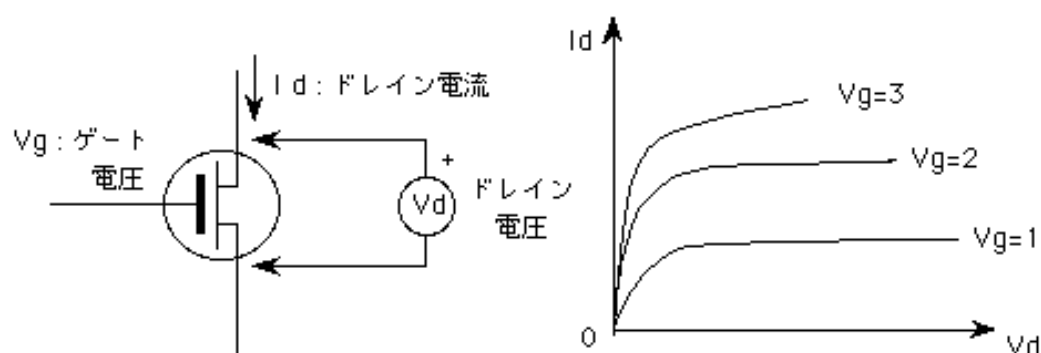
ツェナー電圧とよばれる  $V_z$  が制御できるため、  
定電圧源として利用出来ます。

## 1-4) バイポーラ・トランジスタ



ベースに電流を流し  $I_c$  は  $I_b$  に依存します。

## 1-5) 電界効果型トランジスタ (FET)



ゲート電圧  $V_g$  により,  $I_d$  をコントロール出来ます。

注) FETの種類によって, ゲート電圧の極性がかわります。  
エンハンスメント形: 正方向電圧  
デプレッション形: 負方向電圧

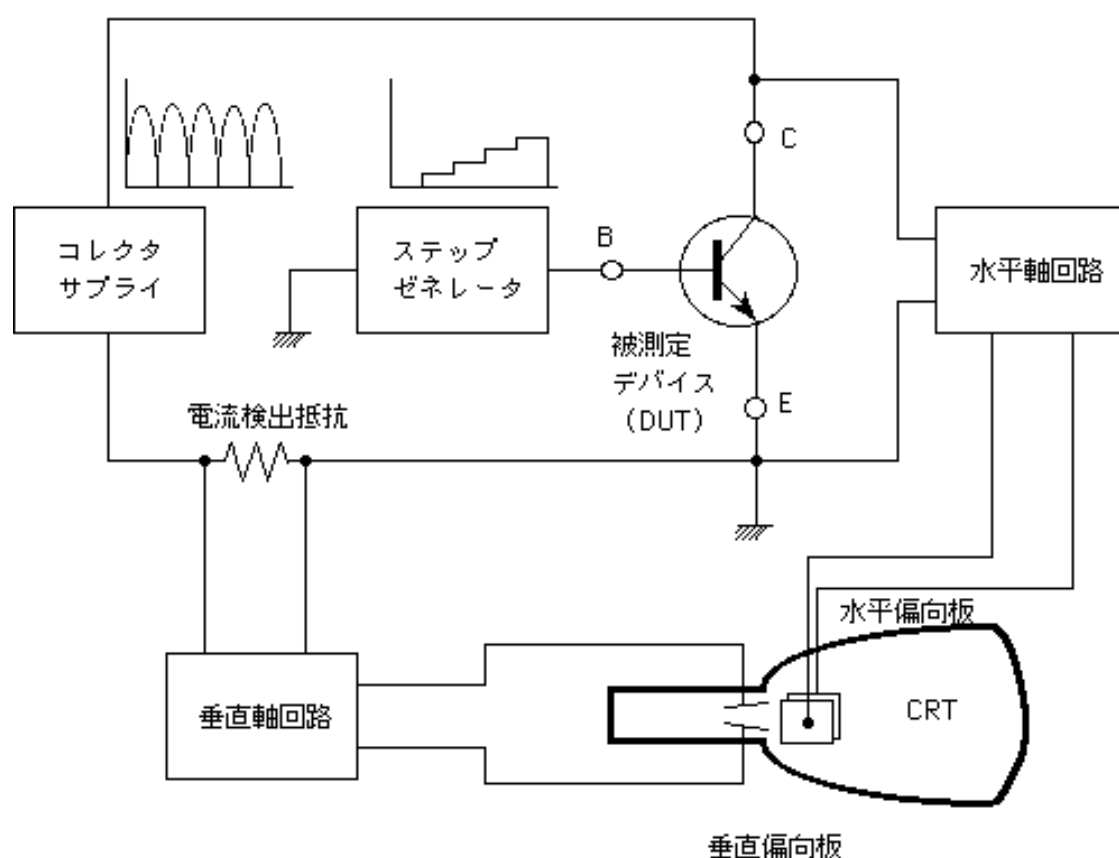
## 1-6) その他

ほかに SCR, IGBTなどのデバイスがありますが, どの端子間の電圧を測るかによって違った特性が現われます。

これらデバイスの測定には, 設定する電圧や電流がいくつもあり, その値も連続的に変えてグラフ化するなど, 非常に煩雑な計測が必要となります。  
これらのデバイスの直流特性曲線が一度にグラフ化できるように工夫されたものが **カーブ・トレーサ**とよばれる計測器です。

## 2. カーブ・トレーサの動作原理

### 2-1) ブロック・ダイアグラム



#### a) コレクタ・サプライ

特性カーブを連続してCRT上に描くために、刻々電圧の変化する波形として全波整流したサイン波を発生します。

#### b) ステップ・ゼネレータ

コレクタ電圧の半波ごとに1段ステップする階段波形を作り、トランジスタのベースなどに供給します。

c) 水平軸回路

デバイスにかかる電圧を検出して、増幅し、CRTの水平偏向板をドライブします。

d) 垂直軸回路

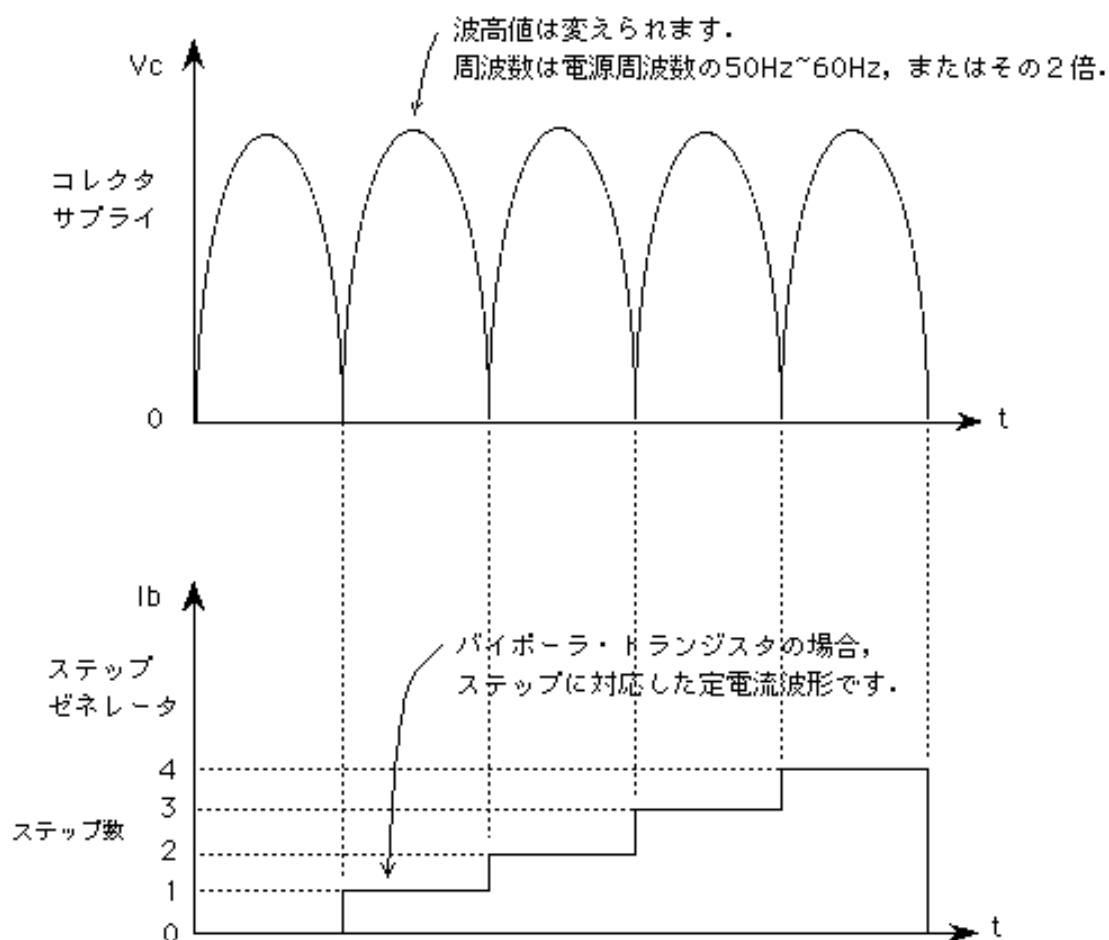
デバイスに流れる電流を検出して増幅し、CRTの垂直偏向板をドライブします。

e) CRT

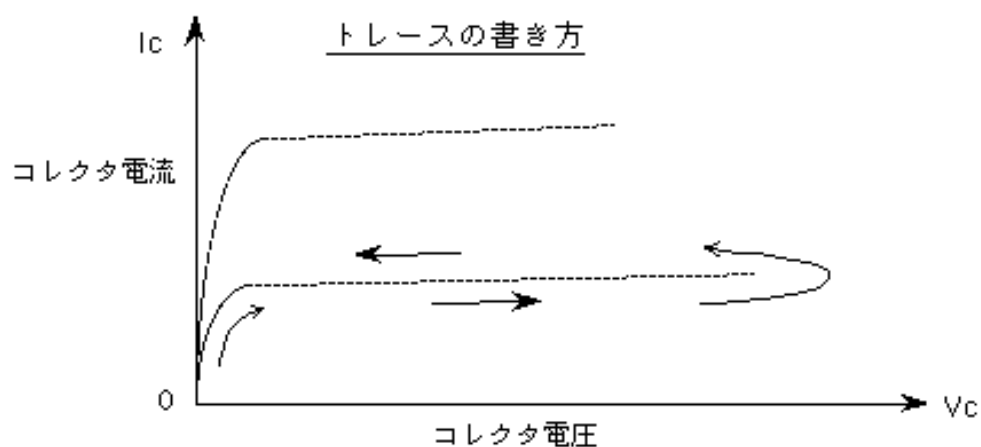
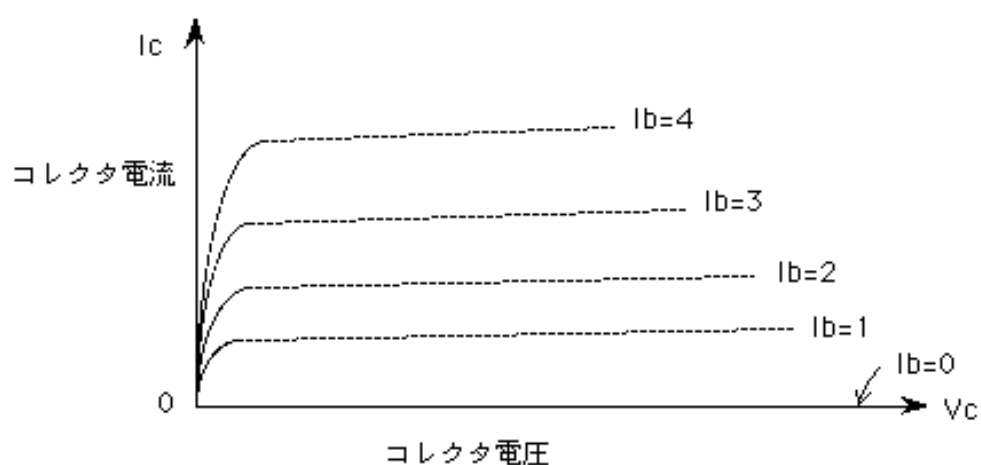
電子ビームを水平、垂直偏向板で偏向し、管面にトレースを描きます。

## 2-2) タイミング・ダイアグラム

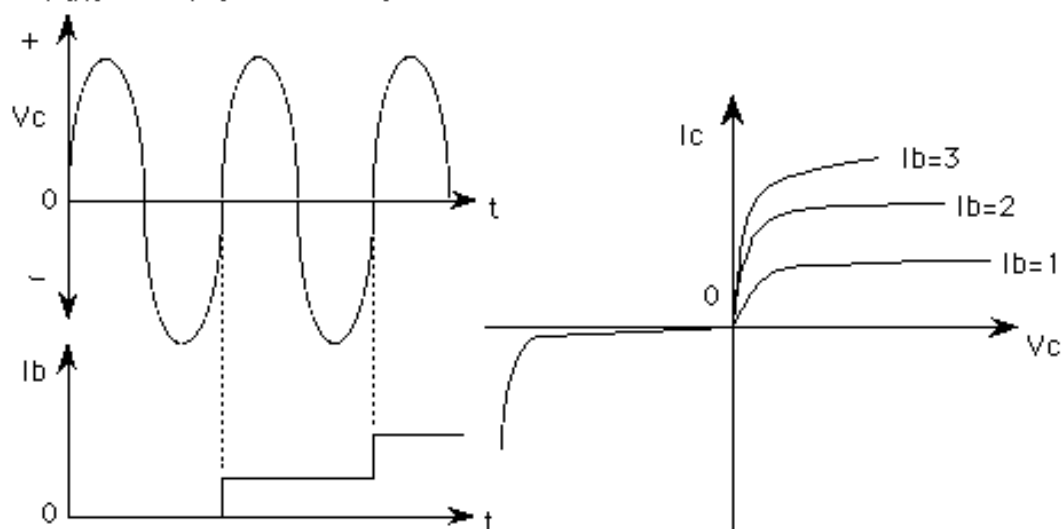
(NPN型バイポーラ・トランジスタの場合)



## 2-3) 特性曲線



実際のカーブ・トレースでは、コレクタ・サプライをAC波形で振ることもでき、+/-両方の極性を一度に描けますが、その際のステップ・ゼネレータはコレクタ・サプライ一周期で1ステップとなります。



### 3. 日本テクトロニクスのカーブ・トレーサ

#### 3-1) はじめに

テクトロニクスでは 1957 年 3 月に 575 型セミコンダクタ・カーブ・トレーサを発表しましたが、一般市販品としては、これが世界最初のカーブ・トレーサでした。

当時、まだ幼年期にあった半導体のめざましい発展とともに、1969 年に 576 型カーブ・トレーサを開発して以来、長期にわたって多くの半導体工場において標準計測器として採用されてまいりました。

1986 年には、さらなる時代の要求に応えデジタル・ストレージ等の新機能を搭載した 370 型、続いて 372 型、370A 型、371A 型を発表。

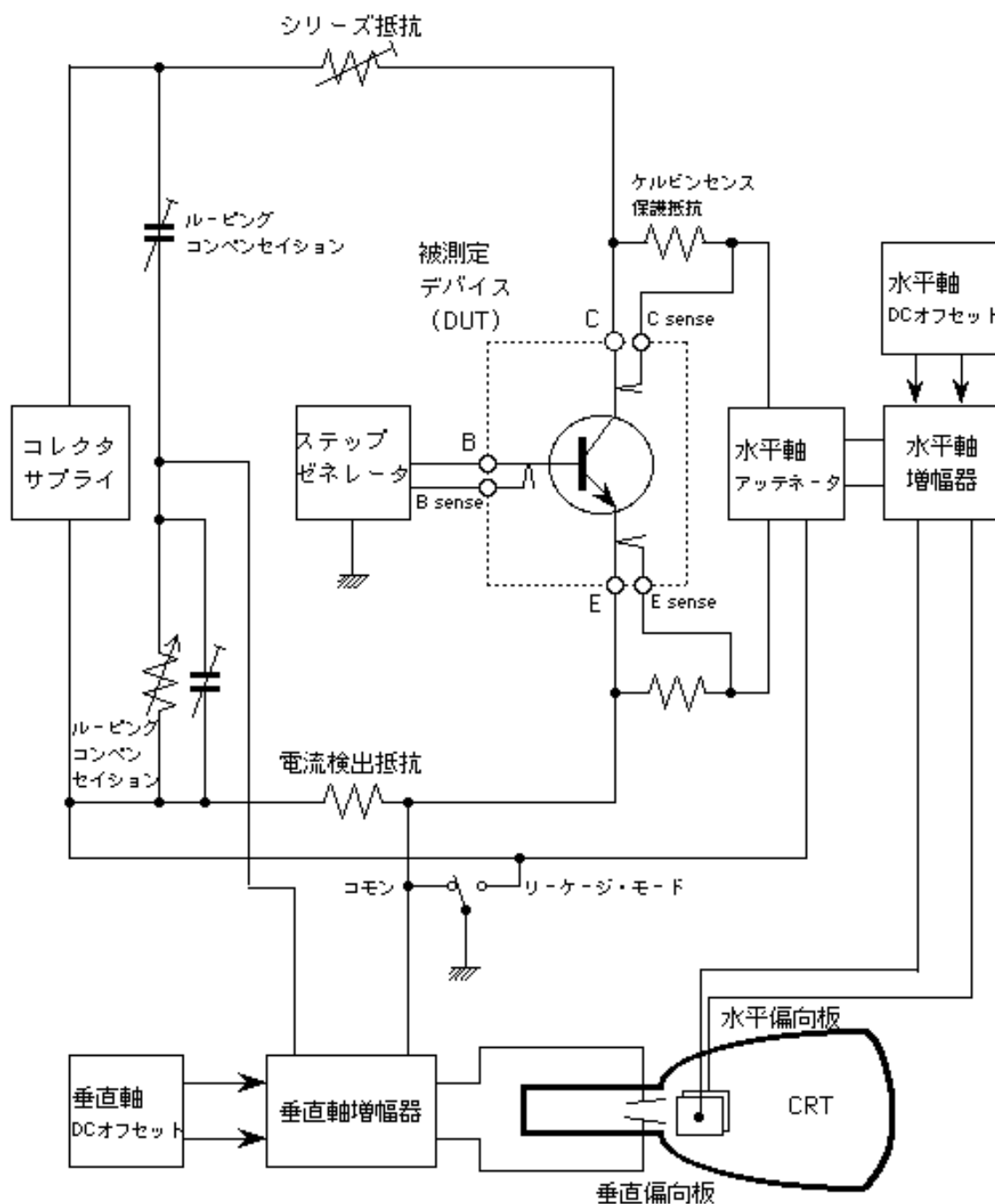
さらに、1992 年には SMU 方式による新しい概念をもつ、372 型セミコンダクタ・ワークベンチを、1995 年にはデバイスの高耐圧化、高電流化に対応した UCT371A 型を発表し現在に至っています。

type	maximum voltage	peak current	peak current(pulse)
***576	1500 V	10 A	20 A
***577 D1/D2	1600 V	10 A	20 A
***370	2000 V	10 A	20 A
***371	3000 V	40 mA	400 A
370A	2000 V	10 A	20 A
371A	3000 V	40 mA	400 A
371A op9W	3000 V	40 mA	1000 A
371A modHV1	5000 V	20 mA	400 A
371A modXP1	5000 V	20 mA	1000 A
***372 op2F	**200 V	* 400 mA	5 A
***372 op5C	** 200 V	* 500 mA	10 A
***571	100 V	2 A	-----
UCT371A	8000 V	500 mA	2000 A

\*は電流      \*\*は定電圧      \*\*\*は販売中止



### 3-2) ブロック・ダイアグラム (370A型)



### a) コレクタ・サブライ

サイン波の全波整流波形、非整流 AC 波形、または DC 電圧を発生することができます。振幅は「MAX PEAK VOLTS」スイッチと「VARIABLE COLLECTOR SUPPLY」のつまみにより、連続的に可変できます。極性は「POLARITY」スイッチで切り替えます。また、「MAX PEAK POWER WATTS」スイッチにより、被測定デバイスにかかる最大ピーク電力を制限することができます、誤ってデバイスを破壊することを防げます。

### b) ステップ・ゼネレータ

1 ステップの電流または電圧は、「STEP AMPLITUDE」つまみで可変でき、そのステップ数は「NUMBER OF STEP」スイッチ等により、0 段（トレース 1 本）から 10 段（トレース 11 本）まで切り換えられます。出力モードはバイポーラ・トランジスタ用に「CURRENT」、FET 用「VOLTAGE」の選択ができます。極性は「POLARITY」により、コレクタ・サブライとは別々に設定できます。またステップ全体の DC オフセットは「OFFSET」で調整します。パルスモードは「LONG」（パルス幅 約 300us）と「SHORT」（パルス幅約 80us）の 2 種類です。

### c) シリーズ抵抗

コレクタ・サブライからの直列抵抗を切り換えて、被測定デバイスにかかるピーク電力を制限します。その抵抗値は「MAX PEAK VOLTS」と「MAX PEAK POWER WATTS」によってきまります。（下表参照）

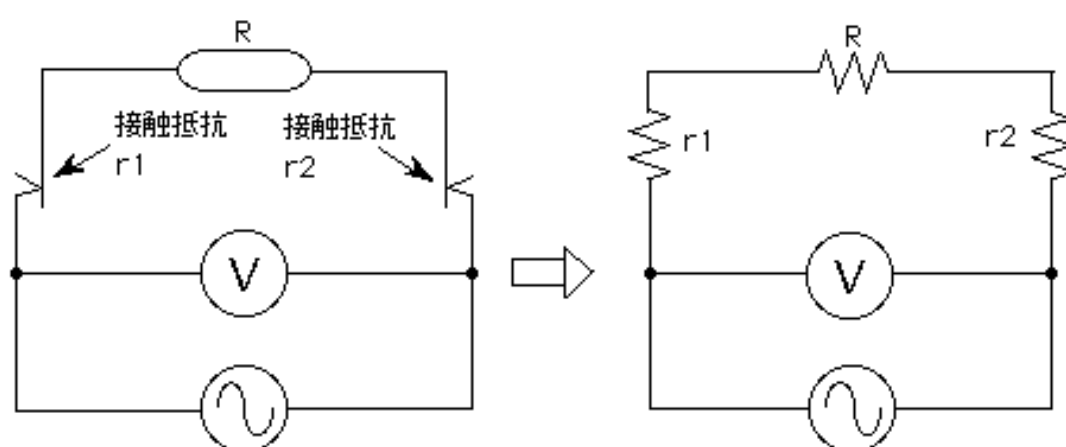
	16V	80V	400V	2000V
220W	0.26 ohm	6.4 ohm	160 ohm	-----
50W	1.3 ohm	32 ohm	800 ohm	20K ohm
10W	6.4 ohm	160 ohm	4K ohm	100K ohm
2W	32 ohm	800 ohm	20K ohm	500K ohm
0.4W	160 ohm	4K ohm	100K ohm	2.5M ohm
0.08W	800 ohm	20K ohm	500K ohm	12.5M ohm

#### d) ケルビン・センシング

カーブ・トレーサの端子と被測定デバイスのリード線との間には微少ながら接触抵抗があり、電流が少ないときは問題となりませんが、大電流になるほどその抵抗成分による電圧降下が無視できず、実際にデバイスにかかる電圧と違ってきます。

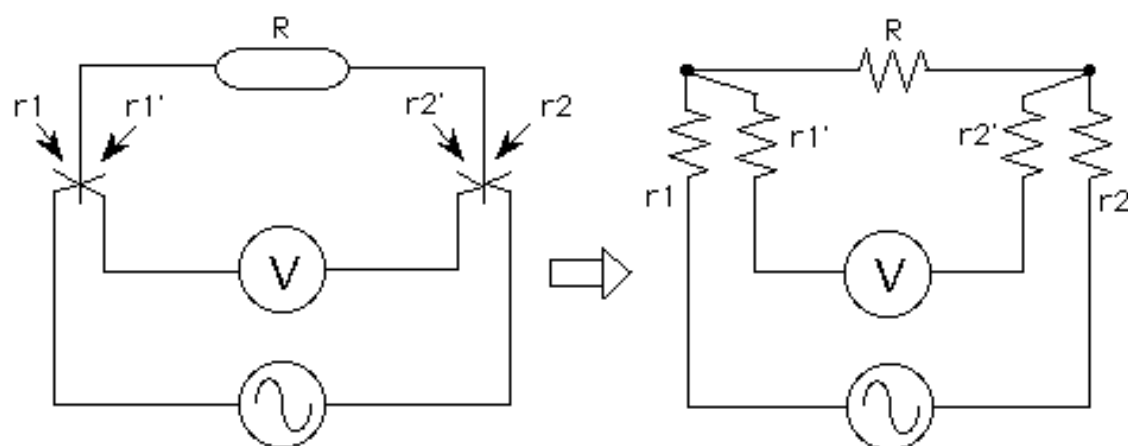
そこで、電圧検出用の端子を別に設け、実際にデバイスにかかる電圧が測れるようになっています。

##### ケルビン・センスの無い場合



( $r1+R+r2$ ) の両端の電圧を測っている。

##### ケルビン・センスのある場合



$r1'$ と $r2'$ は電圧計の内部抵抗より十分小さいので無視できます。

e) DCオフセット

DCオフセットにより、垂直、水平軸の位置を自由に移動でき、極性切り換え、一部分拡大等に便利です。「POSITION」のコントロールで調整できます。

f) ルーピング・コンベンション

カーブ・トレーサ内部、およびアダプタの浮遊容量を補正して特性カーブのループをなくします。

ただし、被測定デバイスの容量補正は行ないません。

g) コンフィギュレーション

フロント・ポーチ上のテスト・アダプタを挿入するC,B,Eの各端子のどこにコレクタ・サプライ、ステップ・ゼネレータ、コモンを接続するかを切り換えます。

コレクタ C	ベース B	エミッタ E	
コレクタ ・ サプライ	ステップ・ゼネレータ	コモン	エミッタ接地 あるいは 2端子
	オープン（外部入力）		
	ショート（エミッタと）		
	コモン	オープン（外部入力）	ベース接地
	ステップ・ゼネレータ		
オープン	コレクタ・サプライ	コモン	

ただし、コモンはコレクタ・サプライがリーケージ・モードでエミッタ電流を測る場合は電流検出抵抗を通してからグラウンドに落とされます。

h) 垂直軸増幅器

コレクタ電流、エミッタ電流のほかにステップ・ゼネレータの電流、または電圧も見られます。

#### i) 水平軸アッテネータ

電圧検出のための分岐電流を電流検出抵抗に流さないよう工夫がなされています。

#### j) 水平軸増幅器

コレクタ電圧のほか、ベースまたはエミッタの電圧も見られます。

コンフィギュレーションでコモンに接続されていない側がソースになります。

### 3 - 3 ) 370A 型カーブ・トレーサの特長

#### a) デジタル・ストレージ

明るく安定した特性曲線を表示。

カーソルを使用した測定。

特性曲線とフロントパネル設定の記憶。

2つの特性曲線を同一画面上で比較。

#### b) アベレージ・モード、エンベロープ・モード

特性曲線のアベレージング（平均化处理）により、高感度レンジでのノイズの影響を押さえるのに有効。

エンベロープ・モードは温度ドリフトなどによって生じる特性曲線の変化の最大値、最小値を表示。

#### c) リードアウト

縦軸と横軸の感度、ステップ・ゼネレータの1ステップの値、1目盛当たりのベータ や gm 等が CRT 管面にデジタル表示される為、測定時や写真撮影時に便利、くわえてミスを防ぐことができます。

#### d) PNP でも NPN でも同一座標に表示可能

表示座標だけを逆転させることができるため、PNP でも NPN でも左下端基準の特性曲線を表示でき、コンプリメンタリペア等の測定に便利です。

#### e) ビームの位置を校正されたステップで変化

ビームの位置を移動する際、校正されたステップで行なえるため特性曲線の一部を拡大して表示し、精密測定をしたいときに便利です。

#### f) コレクタ・サプライが AC や DC でも行なえる

コレクタ・サプライを単極性の他に AC で加えることが出来る為、順方向と逆方向の特性を一度に観測できます。基点は自動的に管面中央に移動します。さらに DC モードにより任意のコレクタ電圧の特性が1点だけ表示、測定できます。

### g) リークージ電流測定

トランジスタやダイオードのリークージ(漏れ)電流測定の際、縦軸の感度が1000倍(1nA/div)になり、MAG使用で100pA/divの高感度となります。また、コレクタ電圧も2000Vまで上がるのでブレイク・ダウン電圧などの場合も含めて、測定範囲が広くとれます。

### h) ベース・ステップをパルスで加えることができる

コレクタ・サプライがサイン波の整流波形のため、測定によっては素子の発熱があり、特性曲線にループが現われたり、ドリフトしたりする場合があります。これを防ぐためベースに加える波形をパルスにし、コレクタ・サプライがピークに達したときだけデバイスをアクチヴにし、あとはカットオフにしておいて発熱を押しさえることができます。

### l) ベース・ステップに校正されたDC オフセットを加えられる

ベースのステップは0段から10段まで切り換えられますが、いずれの場合も校正されたDC電流又は電圧を加えることも、差し引くこともできるため、任意の特性曲線がえられます。

### j) FET の測定が簡単

トランジスタのベースへは定電流ステップですが、FETでは定電圧ステップとなります。スイッチひとつで電流モードと電圧モードが切り換えられ、極性もコレクタ・サプライとは別々に選ぶことができ、さらにオフセットもかけられます。

### k) AUX サプライ

補助DC電源を備え、サブストレートなどに電圧を供給できます。

**Tektronix**

Enabling Innovation

**日本テクトロニクス株式会社**

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階 〒108-6106  
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問合せください。

**TEL 03-6714-3010 FAX 0120-046-011**

電話受付時間/9:00~12:00・13:00~19:00 月曜~金曜(祝日は除く)

ホームページ <http://www.tektronix.co.jp/>  
E-mail [ccc.jp@tektronix.com](mailto:ccc.jp@tektronix.com)

●記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。