

MOSFET特性の自動測定

WASHIZU, Genichi / HARA, Tohru / 原, 徹 / 鷺頭, 源一

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

28

(開始ページ / Start Page)

101

(終了ページ / End Page)

131

(発行年 / Year)

1992-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003883>

MOSFET特性の自動測定

鷺頭源一*・原 徹**

Measurement of MOSFET Performance

Genichi WASHIZU* and Tohru HARA**

Abstract

Fundamental characteristics of MOSFET is measured by automated measuring system employing GP-IB interface. This paper describes a program of these measurements, I_D-V_D and I_D-V_G characteristics can be plotted and threshold voltage, transconductance and on resistance of FET can be determined. This system is very useful to the experiment for students in electrical engineering department.

§ 1. はじめに

1種類のキャリアのみを利用したユニポラトランジスタは、半導体の電界効果によって動作するところから電界効果トランジスタ (Field Effect Transistor) と呼ばれている。このうちで最も多いものが、MOS-FETであり、その特徴は極めて優れた特徴を持っている。まず、消費電力が極端に少なく、雑音に対して変動しにくいいため、多少電源が変動しても誤動作せず安定性が高い、雑音特性が良く環境に支配されなく、高周波領域動作も可能である。又、耐放射性も大きく、混変調歪が少ない。

このため、MOSFETトランジスタは省エネルギー化、システム機器の長小型化が進につれ、クロウズアップされた素子である、又、製造上、工程が単純なことからチップ面積に与える欠陥の影響は低いいため微細加工が容易で、低価格であり、アナログやデバイスの集積回路や特に大規模な集積化が可能であり、LSIの主力は、MOSFETで作られる現状であり主要な素子である。今回、MOSFETの I_D-V_D 特性、 I_D-V_G (V_T) 特性の測定を行い、基本特性を理解することを目的とした。

*電気工学科電気電子

**

§ 2. 基礎理論

2.1 MOSFET (MOS電界効果トランジスタ) 構造、動作原理

MOSFETはMOSダイオード構造を絶縁ゲートとして用い、ゲートに加えた電圧によって半導体内に生じる反転層内の電荷によって、ソース、ドレイン間の導電路に流れる電流を制御するものである。逆転層の電荷による導電路はチャンネルと呼ばれる、反転層の電子によってチャンネルが構成されるトランジスタをn-ch形、正孔によってチャンネルが構成されるトランジスタをp-ch形と呼ぶ。

Fig.1にn-chMOSFETの構造を示す。

n-chMOSFETは、P形基板を用い、ソース、ドレイン領域は n^+ 領域で形成される。基板に対してゲート電圧 $V_g > 0$ を印加し、半導体表面に電子を誘起する。これにより、半導体表面の電子濃度が基板P形半導体の正孔濃度より高くなった場合、反転層が形成され、ソース、ドレイン間が低抵抗層となる。ドレインにドレイン電圧 $V_d > 0$ をかけ、チャンネルを走行するキャリア(電子)を取り出すことでドレイン電流 $I_d > 0$ が流れる。P-chMOSFETでは、n形基板を用い、ソース、ドレイン領域は P^+ 領域で形成される。 $V_g < 0$ を印加し、反転層(キャリアは正孔)が形成され、 $V_d < 0$ をかけることにより、 $I_d < 0$ が流れる。

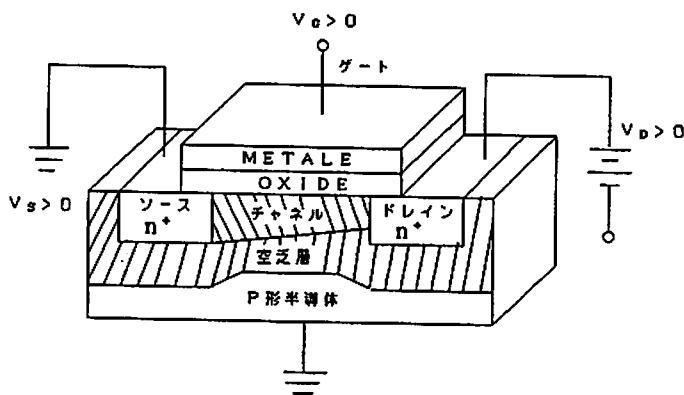


Fig. 1 n-chMOSFET構造

2.2 MOSFET $I_d - V_d$ 特性

MOSFETの $I_d - V_d$ 特性は、ドレイン電圧 V_d の変化によるチャンネルの状況の変化により、線形領域、ピンチオフ、飽和領域となる。各領域のドレイン電流 I_d をゲート電圧 V_g の関数として示す。

2.2.1 線形領域 ($V_d \ll V_g - V_T$)

n-chMOSFETの場合を例にする。

ゲート電圧 $V_g > 0$ をかけ、反転層が形成されている状態を考える。 $V_d > 0$ で十分小さく、Fi

Fig.2に示す表面電界 $E_x \ll E_z$ で等電位面が表面に平行だと仮定する。Fig.2に於ける微小区間 dx では、基板の電位を $V_c(x)$ とすると、実効的に $V_G - V_c(x)$ の電圧が印加されたことになり、表面に誘導される伝導キャリアの表面密度 $Q_i(x)$ は、しきい値電圧 V_T 、ゲート容量 C_{ox} とすると、

$$Q_i(x) = -C_{ox} [V_G - V_T - V_c(x)] \quad (1)$$

となる。この電荷 Q_i が、微小電界 E_x によってドリフトし、チャンネルを電流が流れる。チャンネル電流 I_D は、チャンネル幅 w 、電子移動 μ とすると

$$I_D = w Q_i(x) \mu E_x \quad (2)$$

となる。電界 E_x は、チャンネルの表面電位を ϕ_s とすると

$$E_x = -\frac{d\phi_s}{dx} = -\frac{dV_c(x)}{dx} \quad (3)$$

となる。

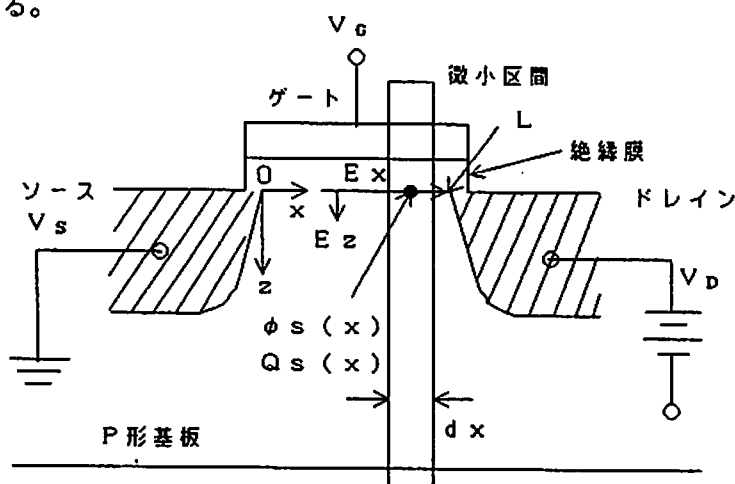


Fig. 2 n-chMOSFET諸量

(1)、(2)、(3)、式より(4)式が導ける。

$$I_D = w C_{ox} (V_G - V_T - V_c(x)) \mu \frac{dV_c(x)}{dx} \quad (4)$$

これを、 $X=0$ から L まで積分する。

$$\int_0^L I_D dx = \int_0^{V_D} w C_{ox} (V_G - V_T - V_c(x)) dV_c(x) \quad (5)$$

$$\begin{cases} x=L \text{ のとき} & VC(x)=V_D \\ x=0 \text{ のとき} & VC(x)=0 \end{cases}$$

よって(5)式より(6)式が得られる。

$$I_D = \frac{1}{2} \times \frac{W}{L} \mu C_{OX} [2 (V_G - V_T) V_D - V_D^2] \quad (6)$$

2.2.2 ピンチオフ ($V_D = V_G - V_T$)

ドレイン電圧 V_D を段々に増加していき、ドレイン領域に接するチャネルの右端の誘導電荷 $Q_i(L) = 0$ となる状態をピンチオフという。ピンチオフのとき、ドレイン電圧 V_D 、ドレイン電流 I_D は、次のようになる。

$$V_D = V_G - V_T \equiv V_P \quad V_P: \text{ピンチオフ電圧} \quad (7)$$

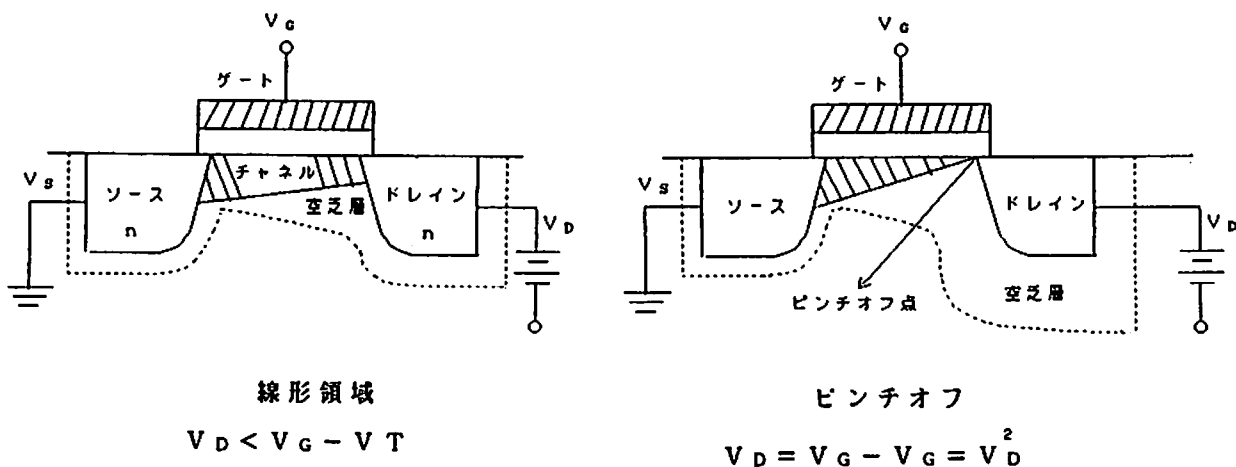
$$I_{Dsat} = \frac{1}{2} \times \frac{W}{L} \mu C_{OX} V_P^2 \quad (8)$$

2.2.3 飽和領域 ($V_D > V_G - V_T$)

ドレイン電圧を増加し、ピンチオフ後、 $V_D > V_P$ では、 $Q_i(L) = 0$ となる点P (ピンチオフ点) が $x < L$ となる。 $V_D > V_P$ では、ピンチオフ点、ドレイン間にはチャネルは形成されず、負の伝導電子は存在しないので、(6)式は意味を持たない。

ピンチオフ点、ドレイン間には空間電荷領域が広がり、ドレインから表面に、ほぼ平行に電気力線が走り、伝導電子はドレインに直ちに吸収される。よってこの空間電荷領域は I_D を規制せず、ピンチオフ後、 I_{Dsat} の一定値を保つ。

以上より、Fig.3に、線形領域、ピンチオフ、飽和領域に於けるチャネルの状況を示す。



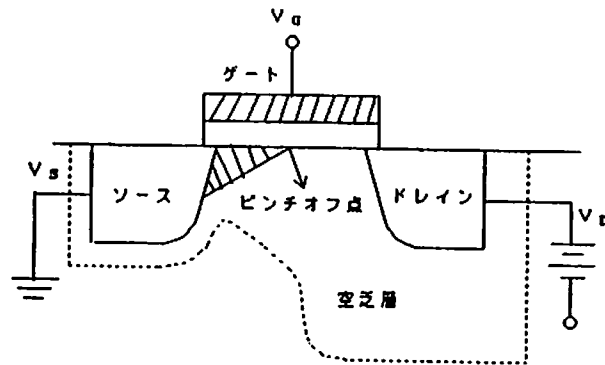


Fig. 3 飽和領域 $V_D > V_G - V_T$
動作時の線形領域、ピンチオフ、飽和領域に於けるチャンネル及び空乏層の状態を示す

線形領域、飽和領域でのドレイン電流式を示し、MOSFET $I_D - V_D$ 特性を Fig. 4 に示す。

$$I_D = \frac{1}{2} \times \frac{W}{L} \mu C_{OX} [2 (V_G - V_T) V_D - V_D^2] \quad \text{線形領域} \quad (9)$$

$$I_{Dsat} = \frac{1}{2} \times \frac{W}{L} \mu C_{OX} V_P^2 \quad \text{飽和領域} \quad (10)$$

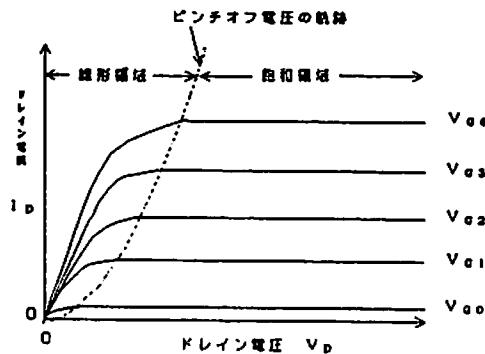


Fig. 4 MOSFETの $I_D - V_D$ 特性
線形領域、ピンチオフ、飽和領域の区分

2.3 しきい値電圧

しきい値電圧は、ドレイン電流がトランジスタのオフ状態の洩れ電流レベル以上となるゲート電圧である。この値を求める式は、

$$V_T = 2 \Psi_B + \frac{(2 \epsilon_0 \epsilon_s q N_A)^{1/2} (2 \Psi_B)^{1/2}}{C_{OX}} \quad (11)$$

但し、 $\Psi_B = kT/q \ln(N_A/n_i)$: フェルミレベル N_A 電子密度である。

これより、 V_T の値は半導体の種類とそのドーピング強度によって決まる Ψ_B 、 N_A 及び、単位面積当りの酸化膜容量 C_{OX} に依存することが分かる。上式はしきい値電圧の最も単純な表現であ

る。実際の場合は酸化膜中に、電荷が存在することを考えて、その時の V_{FB} (フロントバンド電圧) をゲート電圧に与える必要がある。

$$V_{FB} = - \frac{1}{C_{OX}} Q_{SS} \tag{12}$$

Q_{SS} : 固定表面電荷密度

結局、しきい値電圧 V_T は次のような形に補正される。

$$V_T = \Phi_{MS} = \frac{1}{C_{OX}} Q_{SS} + 2 \Psi_B + \frac{(2 \epsilon_0 \epsilon_s q N_A)^{1/2} (2 \Psi_B)^{1/2}}{C_{OX}} \tag{13}$$

MOSTランジスタでは、しきい値電圧 V_T を $V_T > 0$ だけでなく、 $V_T < 0$ にすることも可能である。ここで、 $V_T > 0$ という特性を示すものをエンハンスメント形という。ゲート電極の真下の基板の表面を、イオン打ち込み法等を利用して、チャネルドーピングしておく、ゲート電圧 V_G が負であってもキャリアが存在するためにドレイン電流 I_D が流れる。つまり $V_T < 0$ の特性を示す。このようなものをデプレッション形という。Fig.5に、MOSTランジスタのエンハンスメント形、及び、デプレッション形、しきい値特性を示す。

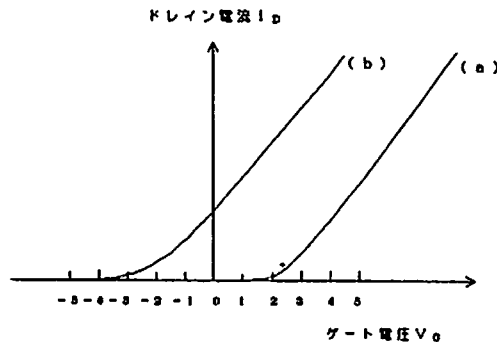


Fig.5 MOSTランジスタのしきい値特性
(a)エンハンスメント形 (b)デプレッション形

2.4 相互コンダクタンス g_m

デバイス特性として重要な役割を果たす相互コンダクタンス g_m は、次式で定義する。

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_G} \right|_{V_D \text{ 一定}} \tag{14}$$

従って、線形領域、飽和領域で g_m を求めると、次のような式を得る。

$$g_m = \frac{\Delta}{\Delta V_G} \left[\frac{W \mu C_{ox}}{L} \left\{ (V_G - V_T) V_D \frac{1}{2} V_D^2 \right\} \right] = \frac{W \mu C_{ox}}{L} V_D \quad (\text{線形領域}) \quad (15)$$

$$g_m = \frac{\Delta}{\Delta V_G} \left\{ \frac{1}{2} \times \frac{W \mu C_{ox}}{L} (V_G - V_T)^2 \right\} = \mu C_o \frac{W}{L} (V_G - V_T) \quad (\text{飽和領域}) \quad (16)$$

相互コンダクタンス g_m は、定義からも分かるように、信号の増幅度を示すものである。これは、ゲート電圧 V_G を変化させた場合のチャネルのコンダクタンスを示すもので、これによりドレイン電流 I_D の大きさが左右されるので、MOSトランジスタの基本的性能を示す重要な因子である。又、この g_m は遮断周波数及びスイッチング速度を比例の形で直接支配する因子であると同時に、電流駆動力を示すものであることから重要である。尚、 g_m は $\sqrt{I_{Dsat}}$ に比例するので、バイポーラトランジスタのように電流を増しても g_m はそれほど大きくはならない。

§ 3. 測定

3.1 測定試料

試料として、市販されているパッケージされた東芝のアルミゲートCMOS[TC4007UBP]を用いた。Fig.6に試料構造を示す。

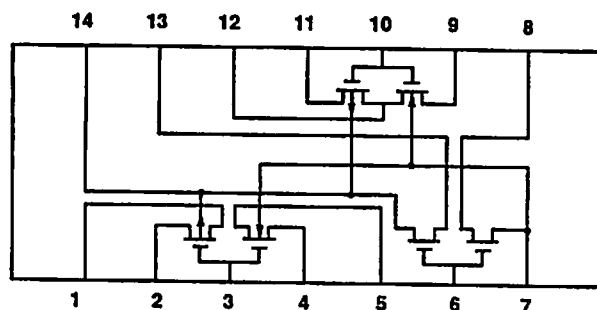


Fig. 6 パッケージ内部構造

NMOSとして (Source-Drain, 4.5ピン、Gate 3ピン、Bulk 7ピン)

PMOSとして (Source-Drain, 1.2ピン、Gate 3ピン、Bulk 14ピン)

を使用した。Fig.7に試料の断面図を示す。

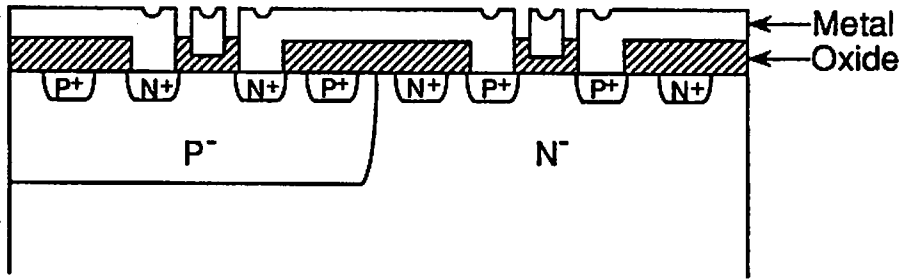


Fig. 7 メタルゲートMOS断面図

3.2 使用機器

表1 使用機器

機器名	型名	会社名
コンピュータ	PC-9801m	NEC
LCR メータ	YHP-4275A	YHP
デジタル マルチメータ	TR6843	タケダ理研
DC, 電源	TR6150	タケダ理研
XY レコーダ	MP-2000	グラフテック

3.3 測定システム

I_D-V_D 特性測定、及び、 I_D-V_G 特性測定ブロックダイアグラムをFig.8に示す。

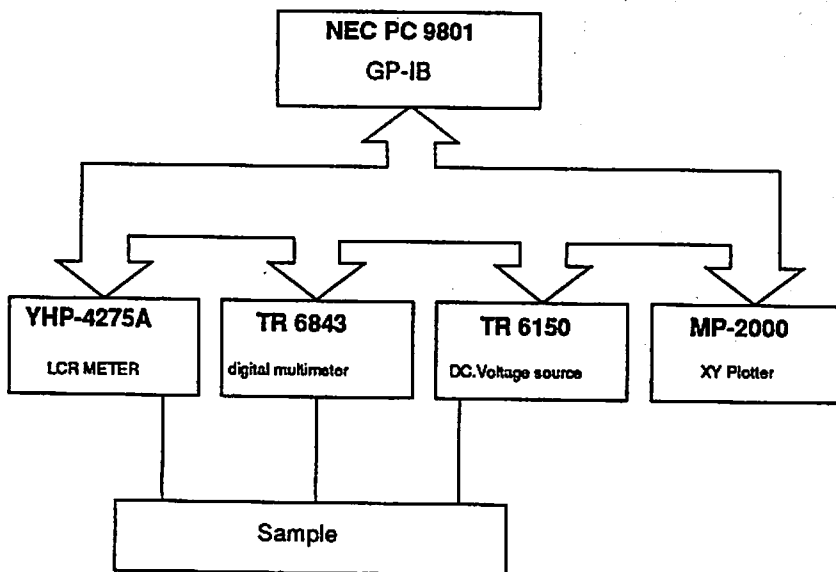


Fig. 8 MOSFETの I_D-V_D 、 I_D-V_G 測定ブロックダイアグラム

3.4 測定方法と測定回路

3.4.1 I_D-V_D 測定

次の要領でドレイン電流-ドレイン電圧特性の測定を行う。

まず、コンピュータPC-9801にLCRメータ、電圧源、電流計を接続する。試料を試料台に接続し、電圧 V_{D_s} をn-chの場合0~3 [V]まで0.1 [V] ステップで又、p-chの場合0~-3 [V]まで-0.1 [V] ステップで変化させて、そのときの電流 I を $V_G=0, 1, 2, 3, 4$ [V] (p-chでは $V_G=0, -1, -2, -3, -4$ [V] 各々の場合において測定する。

測定されたデータは、画面上にプロットされる。又、X-Yプロッタに V_{D_s} を横軸、 I_D を縦軸にとってプロットされる。Fig.9に(a)n-ch、 I_D-V_D 測定回路、(b)p-ch、 I_D-V_G 測定回路を示す。

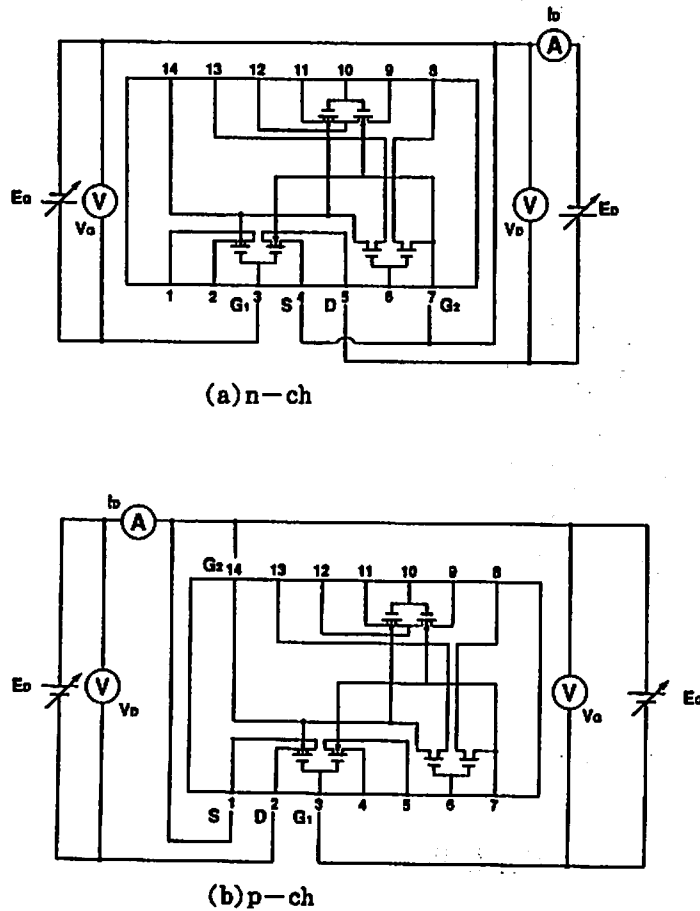


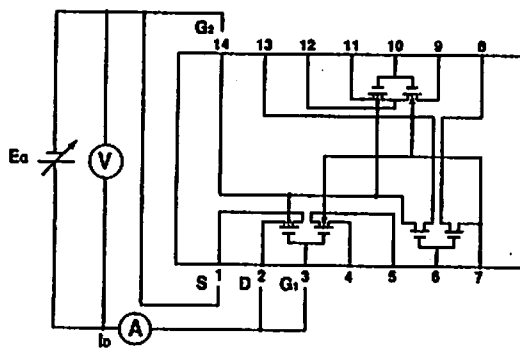
Fig. 9 (a), (b) I_D-V_D 測定回路

3.4.2 I_D-V_G 測定

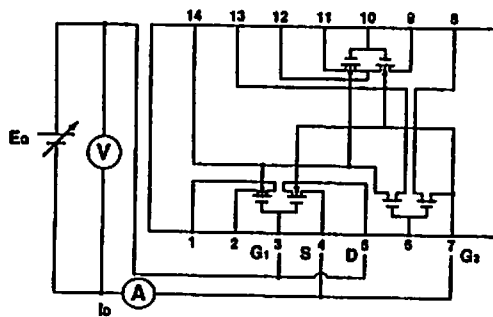
次の要領でドレイン電流-ゲート電圧特性の測定を行う。

I_D-V_D 測定と同様に、測定機器及び、試料を接続する。電源電圧 V_G を、n-chの場合0 [V]から0.01 [V] ステップ、p-chの場合0 [V] から-0.01 [V] ステップで電流 I_D が10 [mA] 流れるまで変化させて、その時の電流 I_D の変化を見る。

測定されたデータは、画面上にプロットされる。又、X-Yプロッターに V_G を横軸、 I_D の平方根をとったもの($\sqrt{I_D}$)を縦軸としてプロットする。Fig.10に(a)n-ch、 I_D-V_G 、測定回路、(b)p-ch、 I_D-V_G 測定回路を示す。この回路はドレインとゲートが共通に接続されており常に飽和領域で動作するようになっている。



(a)n-ch



(b)p-ch

Fig.10 (a),(b) I_D-V_G 測定回路

§ 4 . 測定結果

4.1 I_D-V_D 測定

(§ 3 . 測定) の項で述べたようにして、n-chにゲート電圧 V_G を0~4 [V]、ステップ1 [V]、p-chにゲート電圧 V_G を0~-4 [V]、ステップ-1 [V]、と各々5種類、変化させた時のドレイン電圧 V_D に対するドレイン電流 I_D との関係を測定する。Fig.11に特性を示す。

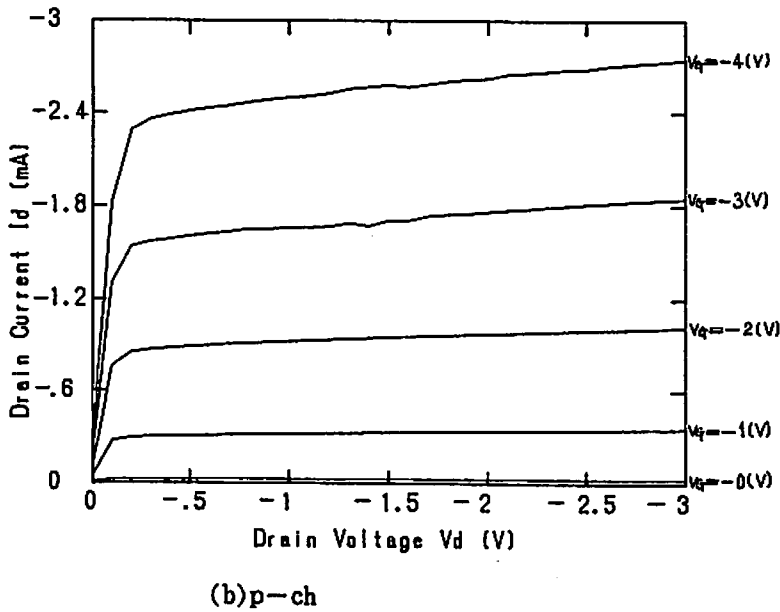
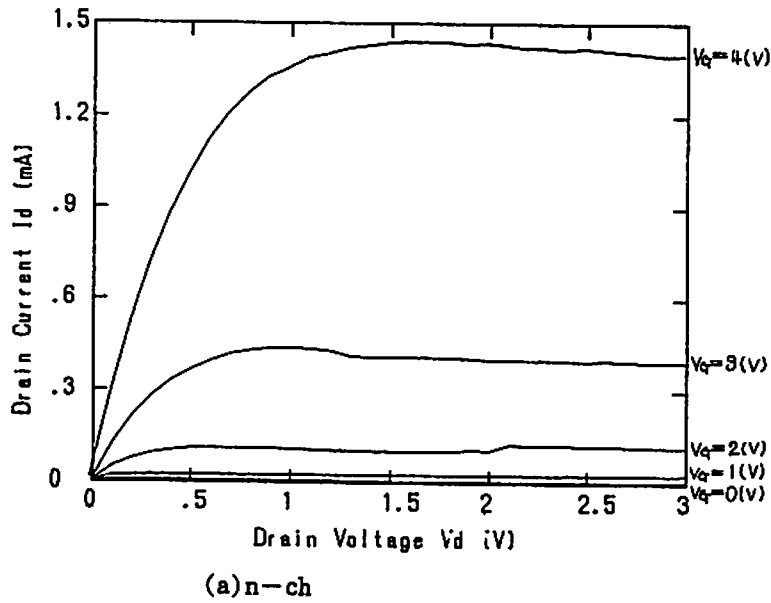


Fig.11 (a), (b) $I_D - V_D$ 特性

4.2 $I_D - V_G$ 測定

(§ 3. 測定) の項で述べたようにして測定した、 V_G に対する $\sqrt{I_D}$ との関係をFig.12にしめす。この曲線に接線を引くことにより、しきい値電圧 V_T を求めた。この結果、n-chでは、 $V_T = 2$ [V]、p-chでは、 -0.4 [V] と言う値が得られた。

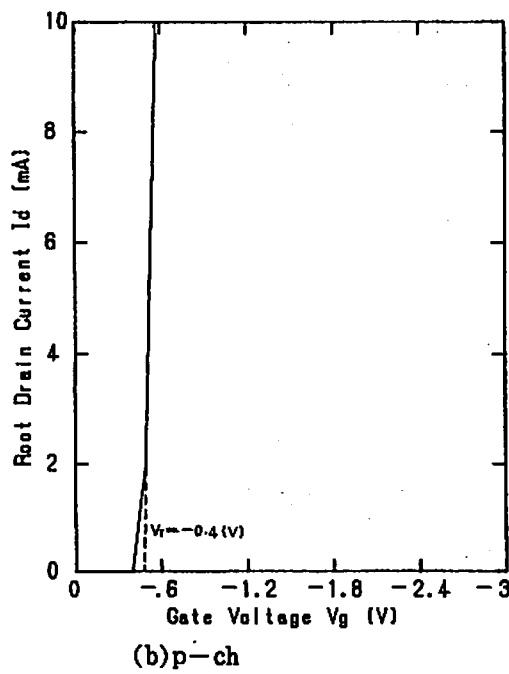
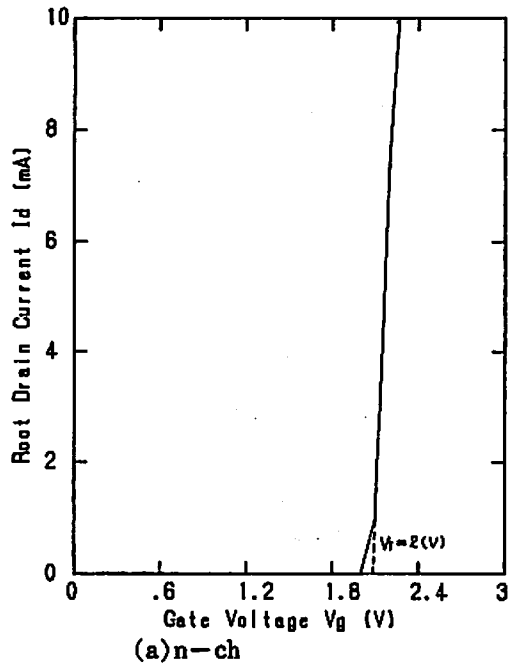


Fig.12 (a),(b) $I_D - V_G$ 特性

§ 5. 結論

今回の測定で次のような結論を得た。

$I_D - V_D$ 特性に於て、n-chMOSFETよりも、p-chMOSFETの方が低電圧で飽和し、立ち上がり方が良く優れた飽和特性が得られた。これは、n-chのキャリアである電子の移動度よりもp

-chのキャリアである正孔の移動度の方が値が小さいためである。

n-ch、p-chの特性はピンチオフ後、飽和領域に於てドレイン電流 I_D は一定値に近く理想的な飽和曲線となった。

Fig.12 I_D-V_G 特性から、n-chの場合 2 [V]、p-chの場合 -0.4 [V] のしきい値電圧 V_T の値を得た。又相互コンダクタンス g_m は、n-chの場合 0.08 [mS]、P-chの場合 0.16 [mS]、そして抵抗 R は、n-chの場合 12.5 [k Ω]、P-chの場合 6.25 [k Ω] の値が得られた。

以上のように I_D-V_D 特性、 I_D-V_G 特性、及び、しきい値電圧 V_T 、相互コンダクタンス g_m 、抵抗 R を数式的に把握し理解できた。

尚、付録として、我々が開発したMOSFETの I_D-V_D 特性、及び I_D-V_G 特性の測定用プログラムを記載しました。

参考文献

- 1) 鷺頭 源一：Silicon compilerに於ける、CMOS-ICを用いたInverter circuit の電氣的伝達特性を自動特性program操作方式に依る特徴の把握について、法政大学研究経過報告集第9号、PP10~12、(1987年)
- 2) 垂井康夫：半導体デバイス、(電気学会) オーム社発行、PP145~152
- 3) 古川静二郎：半導体デバイス、(電子情報通信学会) コロナ社発行、PP 153~158
- 4) 岸野正剛：半導体デバイスの基礎 (オーム社) オーム社発行、PP178~179

I D - V D 特性

測定データ

G.NUM: ゲート電圧の数
 D.NUM: ドレイン電圧の数
 CURRENT: 測定したドレイン電流

データ
 初期設定
 1000~
 1150行
 G.MIN, G.MAX, G.DEL
 D.MIN, D.MAX, D.DEL
 XNOS, YNOS, XDE, YDE
 CRT表示

1160~
 1170行
 エラー発生の場合、ERR、
 TRAP行へ、STOPキーによる
 割込み許可し、XFINE行へ

1280~
 1470行
 メニュー画面をCRTに表示
 ファンクションキー割当

XRESTART 1450行

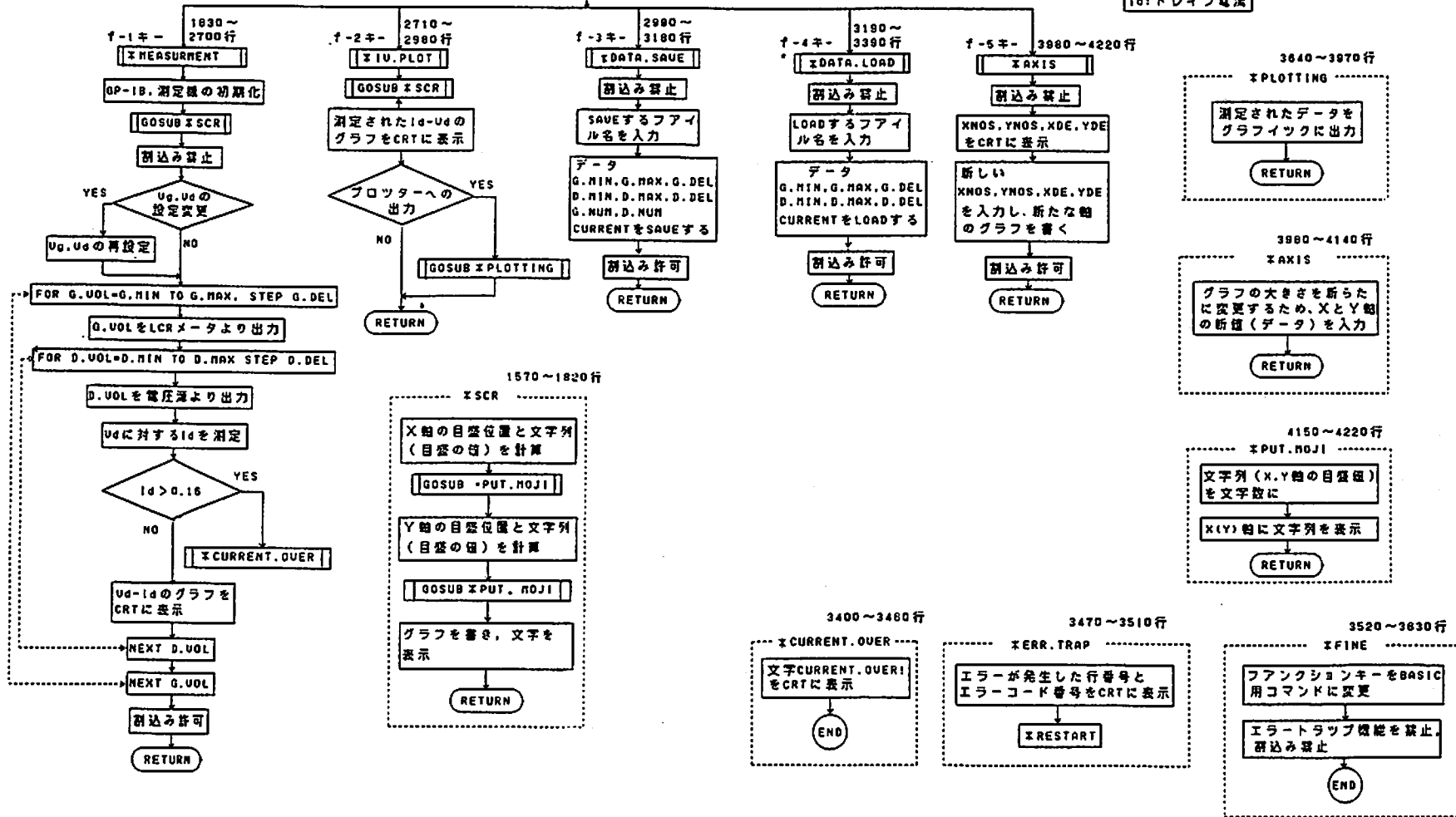
割込み許可

ファンクションキー入力

入力データ

G.MIN: ゲート電圧最小値
 G.MAX: ゲート電圧最大値
 G.DEL: ゲート電圧変化値
 D.MIN: ドレイン電圧最小値
 D.MAX: ドレイン電圧最大値
 D.DEL: ドレイン電圧変化値
 XNOS: X軸の最大値
 YNOS: Y軸の最大値
 XDE: X軸の目盛り数
 YDE: Y軸の目盛り数

Ug: ゲート電圧
 Ud: ドレイン電圧
 Id: ドレイン電流



付録1-2 自動測定プログラムの説明

I_D-V_D測定

行番号	ファイル名
1000 ~ 1015 行	ゲート電圧, ドレイン電圧の初期設定, 画面上の大きな発生によるエラーに 対しての対処方法の表示, エラー行 番号, ツブキ
1160 ~ 1170 行	エラーストック
1280 ~ 1440 行	メニュー画面の割り当て, ファ クションキー
1470 ~ 1560 行	割り込み許可し, ファンクションキー
1570 ~ 1820 行	入力軸とY軸の目盛りを求めCRTにグ ラフを表示。
1830 ~ 2080 行	GP-IP, 測定器の初期化, レンジ設 定値をCRTに表示し, ドレイン電圧の 設定値をCRTに設定し, タカ出力, ド ット測
2100 ~ 2670 行	ドレイン電圧を測定し, CRTに流 れを測定する。0.16 [A] 以上流 れると測
2710 ~ 2970 行	測定されたデータ (ドレイン電流) を CRT及びデータポートにプロットす る。
2990 ~ 3180 行	測定されたデータをSAVLOADする
3190 ~ 3390 行	SAVRENTを中止する。CRT
3400 ~ 3460 行	に表示し, 発生時の表示キーを中 止する。エラーコード番
3470 ~ 3510 行	エラーコードを中止する。マ
3520 ~ 3630 行	フアドにクシヨシ, エラースト ックを中止する。機能す
3640 ~ 3970 行	禁止, 割り込み禁止, グラフイ ツク
3980 ~ 4140 行	力しグラフ (X軸とY軸) の大きさを 新値に入
4150 ~ 4220 行	グリフ (X軸とY軸) の文字列 (目盛 文表示 の値を求め, X (Y) 軸の文字列

付録 1 - 3

```

1000 ' PC-9801用
1010 ' MOS-FET
1020 ' ID-VD Chracteristic
1030 ' 自動測定プログラム Ver1.0
1050 G.MIN=1!:G.MAX= 4!:G.DEL= 1
1060 D.MIN= 0!:D.MAX= 3!:D.DEL= .1
1070 DIM DCURRENT(500,10),ID(500,10),PLOT(500,10)
1080 XNOS=3:YNOS=.001:XDE=6:YDE=5
1090 CXSPAN=360:CYSpan=260:                                     '軸の長さ
1100 PXSPAN=1800:PYSPAN=1400:                                   'プロッター軸の長さ
1110 XOFS=240:XMAX=XOFS+360:YMIN=5:YOFS=YMIN+260:             '軸のOFFSET値
1120 XSCL=360/XNOS:YSCL=-260/YNOS :                             '軸のスケールの長さ
1130 PXSCL=1800/XNOS:PYSCL=1400/YNOS:PXOFS=500:PYOFS=500
1140 '
1150 SCREEN 3,1:CONSOLE 0,25,1,1,0:CLS 3
1160 ON ERROR GOTO *ERR.TRAP
1170 STOP ON:ON STOP GOSUB *FINE
1180 ISET IFC:ISET REN:CMD DELIM=0:CMD TIMEOUT=5
1190 LOCATE 0,15:PRINT "プロッターに出力しますか。(y/n)":PLOT$=INKEY$
1200 IF PLOT$="n" THEN PLOT$="N"
1210 IF PLOT$="y" THEN PLOT$="Y"
1220 IF PLOT$="N" THEN *MAIN
1230 IF PLOT$="Y" THEN PRINT @4;"H" ELSE 1190
1240 '*****
1250 *MAIN
1260 '
1270 CLS 3:LOCATE 0,2
1280 LINE (20,40)-(180,220),,B
1290 PRINT
1300 PRINT
1310 PRINT "      [ Function key ]"
1320 PRINT
1330 PRINT "      (F.1) MEASUREMENT"
1340 PRINT "      (F.2) I-V PLOT"
1350 PRINT "      (F.3) DATA.SAVE"
1360 PRINT "      (F.4) DATA.LOAD"
1370 PRINT "      (F.5) AXIS"
1380 PRINT "      (STOP) END"
1390 CONSOLE 20,5:LOCATE 1,14:CLS 1
1400 KEY 1,"MEAS"
1410 KEY 2,"PLOT"
1420 KEY 3,"SAVE"
1430 KEY 4,"LOAD"
1440 KEY 5,"AXIS"
1450 *RESTART
1460 FOR I=1 TO 5:KEY(I) ON:NEXT I

```

```

1470 ON KEY GOSUB *MEASUREMENT,*IV.PLOT,*DATA.SAVE,*DATA.LOAD,*AXIS
1480 YPOS0=0:YPOS=4
1490 LOCATE 7,15:COLOR 2:PRINT "INPUT FUNCTION !!":COLOR 7
1500 BEEP 1:FOR I=0 TO 50:NEXT I:BEEP 0
1510 '
1520 *WAITING
1530 '
1540 GOTO *WAITING
1550 '
1560 '*****
1570 *SCR
1580 '
1590 LOCATE 1,14:CLS 3
1600 FOR I=0 TO XDE
1610   XLINE=XOFS+360/XDE*I
1620   LINE(XLINE,YMIN)-(XLINE,YOFS),7
1630   PRTX=XLINE-9:PRTY=YOFS+4
1640   PRT$=STR$(XNOS/XDE*I)
1650   GOSUB *PUT.MOJI
1660   BEEP 1:BEEP 0
1670 NEXT I
1680 FOR I=0 TO YDE
1690   YLINE=YOFS-260/YDE*I
1700   LINE (XOFS,YLINE)-(XMAX,YLINE),7
1710   PRTX=XOFS-35:PRTY=YLINE-4
1720   PRT$=STR$(YNOS/YDE*I*1000)
1730   GOSUB *PUT.MOJI
1740   BEEP 1:BEEP 0
1750 NEXT
1760   LINE(XOFS,YMIN)-(XMAX,YOFS),1,B
1770 '
1780 LOCATE 0,0:PRINT "F E T I d - V d自動測定"
1790 LOCATE 49,18:PRINT "電圧 [V]"
1800 LOCATE 24, 6:PRINT "電":LOCATE 24, 8:PRINT"流":LOCATE 22,10:PRINT" [mA]"
1810 RETURN
1820 '*****
1830 *MEASUREMENT
1840 '           GP-I Bの初期化
1850 PRINT @17;"A2T3"
1860 PRINT @ 2;"V5L0L6"
1870 PRINT @ 7;"R5S1DLO"
1880 GOSUB *SCR
1890 '
1900 *MEASURE
1910 '
1920 FOR I=1 TO 5:KEY (I) OFF:NEXT
1930 LOCATE 0,18
1940 PRINT USING "G.MIN ##.#/G.MAX ##.#/G.DEL ##.##";G.MIN;G.MAX;G.DEL
1950 LOCATE 0,19

```

```

1960 PRINT USING "D.MIN ##.#/D.MAX ##.#/D.DEL ##.##";D.MIN;D.MAX;D.DEL
1970 CLS 1
1980 LOCATE 0,20:PRINT "電圧の設定を変えますか。":Q$=INKEY$
1990 IF Q$="Y" OR Q$="y" THEN 2010
2000 IF Q$="N" OR Q$="n" THEN 2050 ELSE 1980
2010 CLS 1:LOCATE 0,20
2020 INPUT "ゲート 電圧 (G.MIN,G.MAX,G.DEL)",G.MIN,G.MAX,G.DEL
2030 CLS 1:LOCATE 0,20
2040 INPUT "ドレイン電圧 (D.MIN,D.MAX,D.DEL)",D.MIN,D.MAX,D.DEL
2050 G.NUM=ABS((G.MAX-G.MIN)/G.DEL)+1
2060 D.NUM=ABS((D.MAX-D.MIN)/D.DEL)+1
2070 CLS 1
2080 '-----
2090 'Vg CONTROL
2100 J=1
2110 FOR G.VOL=G.MIN TO G.MAX STEP G.DEL
2120 '
2130 'DC BIAS DATA FORMATTING
2140 IF G.VOL<> 0 THEN SHISUU=INT(LOG(ABS(G.VOL))/LOG(10)) ELSE SHISUU=0
2150 KASUU$=LEFT$(STR$(G.VOL/10^SHISUU),5)
2160 IF LEN(KASUU$)=2 THEN KASUU$=KASUU$+".00"
2170 IF LEN(KASUU$)=4 THEN KASUU$=KASUU$+"0"
2180 SHISUU$=LEFT$(STR$(SHISUU),3)
2190 IF LEN(SHISUU$)=2 THEN SHISUU$=LEFT$(SHISUU$,1)+"0"+RIGHT$(SHISUU$,1)
2200 GATE.BIAS$="BI"+KASUU$+"E"+SHISUU$+"V"
2210 PRINT @17; GATE.BIAS$
2220 PRINT @17;"E":FOR K=1 TO 2000:NEXT
2230 LOCATE 1,14
2240 PRINT USING "電圧Vg = ##.# [V]";G.VOL:PRINT
2250 '
2260 '-----
2270 'Vd CONTROL
2280 PRINT @2;"D+00.0000E"
2290 I=1
2300 FOR D.VOL= D.MIN TO D.MAX STEP D.DEL
2310 D.BIAS$="D"+STR$(D.VOL)+"E"
2320 PRINT @2;D.BIAS$:FOR F=1 TO 1000:NEXT
2330 '
2340 'Id MEASURE
2350 '
2360 LINE INPUT @7;D.CURRENT$
2370 D.CURRENT=VAL(MID$(D.CURRENT$,3,10))
2380 IF D.CURRENT>.16 THEN *CURRENT.OVER
2390 DCURRENT(I,J)=D.CURRENT
2400 PLOT(I,J)=D.CURRENT
2410 LOCATE 1,15
2420 PRINT USING "電圧Vd = ##.# [V]";D.VOL
2430 LOCATE 1,16
2440 PRINT USING "電流Id = ##.##^ [mA]";DCURRENT(I,J)*1000

```

```

2450 '
2470     IF XNOS>0 THEN GOTO 2530
2480     XSCR=-XSCL*ABS(D.VOL)+XOFS
2490     YSCR=-YSCL*ABS(DCURRENT(I,J))+YOFS
2495     IF I=1 THEN *PASS
2500     XSCRO=-XSCL*ABS(D.VOL-D.DEL)+XOFS
2510     YSCRO=-YSCL*ABS(DCURRENT(I-1,J))+YOFS
2520     GOTO 2570
2530     XSCR=XSCL*ABS(D.VOL)+XOFS
2540     YSCR=YSCL*ABS(DCURRENT(I,J))+YOFS
2545     IF I=1 THEN *PASS
2550     XSCRO=XSCL*ABS(D.VOL-D.DEL)+XOFS
2560     YSCRO=YSCL*ABS(DCURRENT(I-1,J))+YOFS
2570     LINE(XSCRO,YSCRO)-(XSCR,YSCR),6
2580     BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2590 '
2600 *PASS
2610 '
2620     I=I+1
2630     NEXT D.VOL
2640     PRINT @17;"BI 0.00E+00V":PRINT @17;"E"
2650     PRINT @2;"D+00.0000E"
2660     J=J+1
2670 NEXT G.VOL
2680 FOR I=1 TO 5:KEY(I) ON:NEXT I
2690 CLS 1:RETURN
2700 '*****
2710 *IV.PLOT
2720 '
2730 LOCATE 1,14:CLS 1
2740 GOSUB *SCR
2750 FOR J=1 TO G.NUM
2760     FOR I=1 TO D.NUM
2770         D.VOL=D.MIN+D.DEL*(I-1)
2780         IF I=1 THEN *PASS1
2790         IF XNOS>0 THEN 2850
2800         XSCR=-XSCL*ABS(D.VOL)+XOFS
2810         YSCR=-YSCL*ABS(PLOT(I,J))+YOFS
2820         XSCRO=-XSCL*ABS(D.VOL-D.DEL)+XOFS
2830         YSCRO=-YSCL*ABS(PLOT(I-1,J))+YOFS
2840         GOTO 2890
2850         XSCR=XSCL*ABS(D.VOL)+XOFS
2860         YSCR=YSCL*ABS(PLOT(I,J))+YOFS
2870         XSCRO=XSCL*ABS(D.VOL-D.DEL)+XOFS
2880         YSCRO=YSCL*ABS(PLOT(I-1,J))+YOFS
2890         LINE(XSCRO,YSCRO)-(XSCR,YSCR),2:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2900         BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2910 '
2920 *PASS1

```

```

2930 NEXT I
2940 NEXT J
2950 IF PLOT$="N" THEN RETURN
2960 GOSUB *PLOTING
2970 RETURN
2980 '*****
2990 *DATA.SAVE
3000 '
3010 FOR I=1 TO 5:KEY (I) OFF:NEXT
3020 CLS 1:LOCATE 1,20:LINE INPUT "セーブ ファイル名を入力して下さい。";FILENAME$
3030 IF FILENAME$="" THEN 3150
3040 FILENAME$="A:¥I-V¥"+FILENAME$
3050 OPEN FILENAME$ FOR OUTPUT AS #1
3060 PRINT #1,G.MIN,G.MAX,G.DEL
3070 PRINT #1,D.MIN,D.MAX,D.DEL
3080 PRINT #1,G.NUM,D.NUM
3090 FOR J=1 TO G.NUM
3100     FOR I=1 TO D.NUM
3110         PRINT #1,DCURRENT(I,J)
3120     NEXT I
3130 NEXT J
3140 CLOSE #1
3150 BEEP 1:FOR I=1 TO 5:KEY (I) ON :NEXT:BEEP 0
3160 LOCATE 1,20:PRINT "
3170 RETURN
3180 '*****
3190 *DATA.LOAD
3200 '
3210 FOR I=1 TO 5:KEY(I) OFF:NEXT I
3220 CLS 1:LOCATE 1,20:LINE INPUT "ロード ファイル名を入力して下さい。";FILENAME$
3230 IF FILENAME$="" THEN 3360
3240 FILENAME$="A:¥I-V¥"+FILENAME$
3250 OPEN FILENAME$ FOR INPUT AS #1
3260 INPUT #1,G.MIN,G.MAX,G.DEL
3270 INPUT #1,D.MIN,D.MAX,D.DEL
3280 INPUT #1,G.NUM,D.NUM
3290 FOR J=1 TO G.NUM
3300     FOR I=1 TO D.NUM
3310         INPUT #1,DCURRENT(I,J)
3320         PLOT(I,J)=DCURRENT(I,J)
3330     NEXT I
3340 NEXT J
3350 CLOSE #1
3360 BEEP 1:FOR I=1 TO 5:KEY(I) ON:NEXT I:BEEP 0
3370 LOCATE 1,20:PRINT "
3380 RETURN
3390 '-----
3400 *CURRENT.OVER
3410 '

```

```

3420 ISET IFC
3430 LOCATE 1,20
3440 PRINT "CURRENT OVER !"
3450 END : GOTO 1150
3460 '-----
3470 *ERR.TRAP
3480 '
3490 LOCATE 1,15:PRINT "ERROR IN";ERL;" CODE No.";ERR
3500 EF=0:RESUME *RESTART
3510 '-----
3520 *FINE
3530 '
3540 KEY 1,"load "+CHR$(34)
3550 KEY 2,"auto "
3560 KEY 3,"go to"
3570 KEY 4,"list "
3580 KEY 5,"run"+CHR$(13)
3590 KEY 6,"save "+CHR$(34)
3600 ON ERROR GOTO 0 : FOR I=1 TO 5:KEY(I) OFF:NEXT
3610 CONSOLE 0,25,1,1:COLOR 7:CLS 3:STOP OFF:END
3620 GOTO 1150
3630 '*****
3640 *PLOTING
3650 '
3660 PRINT @4;"M",PXOFS,PYOFS
3670 PRINT @4;"X",2,1400,YDE,40,0,"X",3,1800,XDE,0,40,"X",2,-1400,YDE,0,40,"X",3,-1800,XDE,40,0
3680 PRINT @4;"S50,Q40,"
3690 PXDE=XDE-1:PYDE=YDE-1
3700 FOR I=0 TO XDE
3710 PRINT @4;"M",1800/XDE*I+PXOFS-60,PYOFS-80,"P"+STR$(XNOS/XDE*I) @
3720 NEXT I
3730 FOR I=0 TO YDE
3740 PRINT @4;"M",PXOFS-130,1400/YDE*I+PYOFS-20,"P"+STR$(YNOS/YDE*I*1000!) @
3750 NEXT I
3760 PRINT @4;"M",PXOFS+150,PYOFS+1400+50,"S60,Q50,PMOSFET Id-Vd Characteristics" @
3770 PRINT @4;"M",PXOFS+500,PYOFS-170,"S50,Q40,PDRAIN Voltage Vd [V]" @
3780 PRINT @4;"M",PXOFS+600,PYOFS-250,"Pvg =" +STR$(G.MIN)+" to"+STR$(G.MAX)+" step"+STR$(G.DEL)+" [V]" @
3790 PRINT @4;"M",PXOFS-150,PYOFS+200,"R900,PDRAIN Current Id [mA]" @
3800 PRINT @4;"R0," @
3810 PRINT @4;"J0," @
3820 PRINT @4;"J2," @
3830 FOR J=1 TO G.NUM
3840 FOR I=1 TO D.NUM
3850 D.VOL=D.MIN+D.DEL*(I-1)
3860 IF XNOS>0 THEN 3900
3870 PXPLT=INT(-PXSC*ABS(D.VOL)+PXOFS+.5)
3880 PYPLT=INT(-PYSCL*ABS(PLOT(I,J))+PYOFS+.5)
3890 GOTO 3920

```

```

3900  PXPLT=INT(PXSCL*ABS(D.VOL)+PXOFS+.5)
3910  PYPLT=INT(PYSCL*ABS(PLOT(I,J))+PYOFS+.5)
3920  IF I=1 THEN PRINT @4;"M",PXPLT,PYPLT ELSE PRINT @4;"D",PXPLT,PYPLT
3930  NEXT I : NEXT J
3940  PRINT @4;"J0,"
3950  PRINT @4;"H"
3960  RETURN
3970  '*****
3980  *AXIS
3990  '
4000  FOR I=1 TO 6 :KEY (I) OFF :NEXT I
4010  CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "X軸の最大値 ###.## [V]";XNOS
4020  LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",XNOS:D.MAX=XNOS
4030  CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "Y軸の最大値 ###.## [mA]";YNOS*1000
4040  LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",YNOS:YNOS=YNOS/1000
4050  CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "X軸の分割数 ##";XDE
4060  LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",XDE
4070  CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "Y軸の分割数 ##";YDE
4080  LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",YDE
4090  CLS 1:XSCL=360/XNOS:YSCL=-260/YNOS : '軸のスケールの長さ
4100  PXSCL=1800/XNOS:PYSCL=1400/YNOS
4110  LOCATE 1,20:PRINT " "
4120  FOR I=1 TO 5 :KEY (I) ON :NEXT I
4130  RETURN
4140  '-----
4150  *PUT.MOJI
4160  '
4170  AA=LEN(PRT$)
4180  FOR ZZ=1 TO AA
4190  PP=ASC(MID$(PRT$,ZZ,1))
4200  PUT (PRTX+8*(ZZ-1),PRTY),KANJI(&H100+PP)
4210  NEXT ZZ
4220  RETURN

```

付録2-1 フローチャート ID-VG特性

測定データ

G.NUM: ゲート電圧の数
ROOT.ID: ドレイン電流

データ
初期設定
G.MIN, G.MAX, G.DEL 1000~
XNOS, YNOS, XDE, YDE 1150行
CRT表示

1160~
1170行
エラー発生の場合、ERR.
TRAP行へ、STOPキーによる
割込み許可し、XFINE行へ

1280~
1470行
メニュー画面をCRTに表示
ファンクションキー割当

XRESTART 1480行

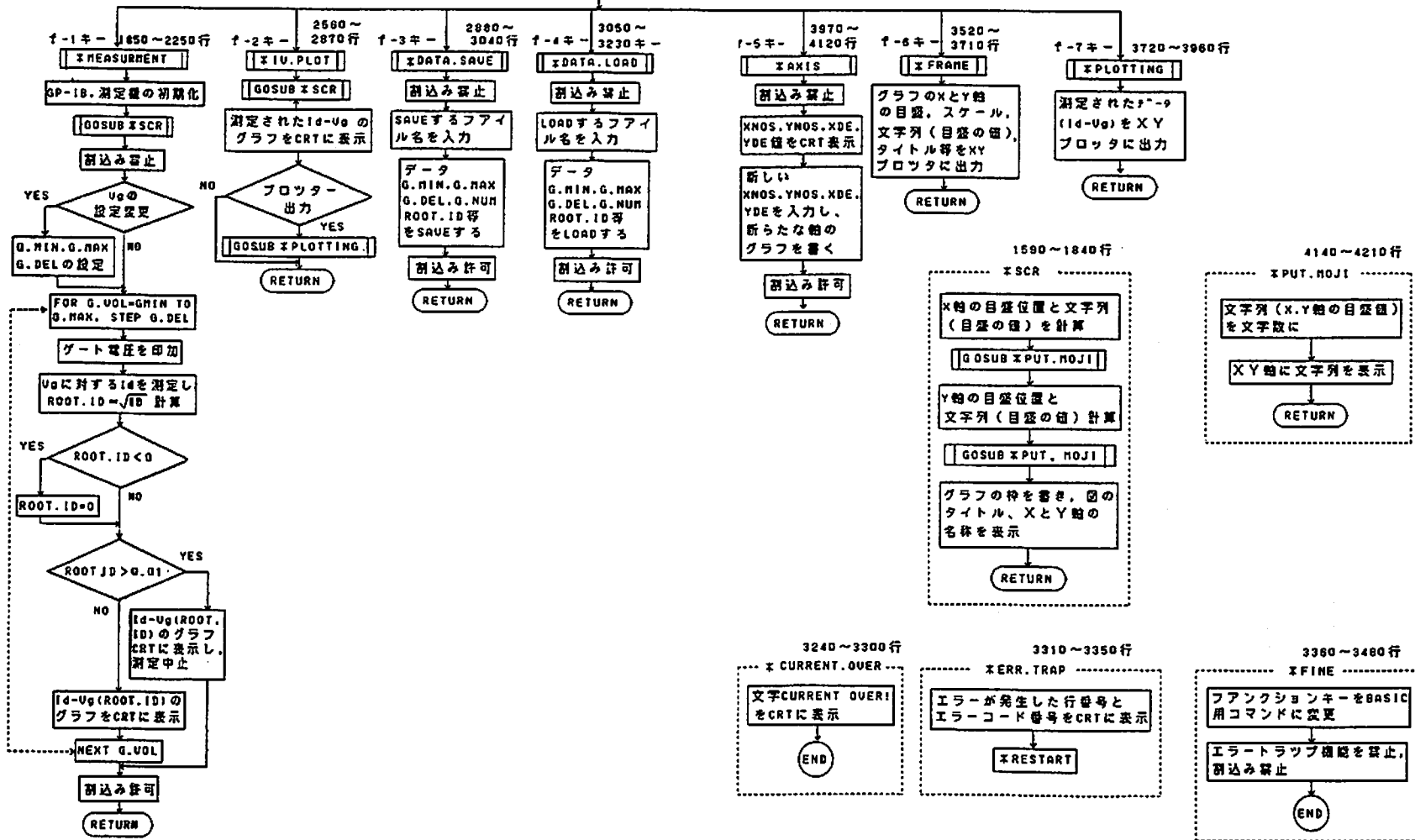
割込み許可 1490行

ファンクションキー入力

入力データ

G.MIN: ゲート電圧最小値
G.MAX: ゲート電圧最大値
G.DEL: ゲート電圧変化値
XNOS: X軸の最大値
YNOS: Y軸の最大値
XDE: X軸の目盛数
YDE: Y軸の目盛数

Ug: ゲート電圧
Id: ドレイン電流



付録2-2

自動測定プログラムの説明
ID-VG特性

行番号	ファイル名
1000 ~ 1150 行	ゲート電圧の初期設定, CRT表示の初期設定, グラフの大きさの設定, ラフ及びプロットのエラー発生しした場合のエラー番号, エラーによる画面の表示, ストックメニューの画面をCRTに表示し, ファイルの読み込み許可し, ファンクションキーX軸のY軸の目盛り位置と文字列(目盛り)を計算しCRTにグラフ表示。
1150 ~ 1170 行	
1280 ~ 1470 行	GP-IB, 測定器の初期化, レンジの設定, ゲート電圧の変更。測定値の初期値をCRTに設定し, 電圧を測定し, ドレイト電流, ゲート電圧の値をCRTにプロットする, ドレイト電流の値を0.01[A]以上流れると測定を中止。
1490 ~ 1580 行	測定されたデータ(ドレイト電流)をCRTに表示され, データをSAVEする。
1590 ~ 1830 行	測定されたデータをOVER!をCRTに表示し, 測定を中止する。
1870 ~ 2070 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
2090 ~ 2540 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
2560 ~ 2860 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
2880 ~ 3030 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3050 ~ 3220 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3240 ~ 3290 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3310 ~ 3340 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3360 ~ 3470 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3520 ~ 3700 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3720 ~ 3950 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
3970 ~ 4120 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。
4140 ~ 4210 行	エラー発生時の入力画面を基本コマンド番号とファンクションキーをトラップ機能とする。

付録 2 - 3

```

1000 ' PC-9801用
1010 ' MOS-FET
1020 ' ID-VG Characteristic
1030 ' 自動測定プログラム Ver1.0
1050 G.MIN=0!:G.MAX=10!:G.DEL=.1
1060 DIM ROOT.ID(500),PLOT(500)
1070 G.NUM=ABS((G.MAX-G.MIN)/G.DEL)+1
1080 XNOS=10:YNOS=.01:XDE=5:YDE=5
1090 CXSPAN=360:CYSYSPAN=260:                                '軸の長さ
1100 PXSPAN=1400:PYSYSPAN=1800:                                'プロッター軸の長さ
1110 XOFS=240:XMAX=XOFS+360:YMIN=5:YOFS=YMIN+260:            '軸のOFFSET値
1120 XSCL=360/XNOS:YSCL=-260/YNOS :                            '軸のスケールの長さ
1130 PXSCL=1400/XNOS:PYSCL=1800/YNOS:PXOFS=500:PYOFS=500
1140 '
1150 SCREEN 3,1:CONSOLE 0,25,1,1,0:CLS 3
1160 'ON ERROR GOTO *ERR.TRAP
1170 STOP ON:ON STOP GOSUB *FINE
1180 ISET IFC:ISET REN:CMD DELIM=0:CMD TIMEOUT=5
1190 LOCATE 0,15:PRINT "プロッターに出力しますか。(y/n)":PLOT$=INKEY$
1200 IF PLOT$="n" THEN PLOT$="N"
1210 IF PLOT$="y" THEN PLOT$="Y"
1220 IF PLOT$="N" THEN *MAIN
1230 IF PLOT$="Y" THEN PRINT @4;"H" ELSE 1190
1240 '*****
1250 *MAIN
1260 '
1270 CLS 3:'LOCATE 0,2
1280 LINE (20,0)-(190,200),,B
1290 PRINT
1300 PRINT "      [ Function key ]"
1310 PRINT
1320 PRINT " (F.1) MEASUREMENT"
1330 PRINT " (F.2) I-V PLOT"
1340 PRINT " (F.3) DATA.SAVE"
1350 PRINT " (F.4) DATA.LOAD"
1360 PRINT " (F.5) AXIS"
1370 PRINT " (F.6) PLOTTER.FRAME"
1380 PRINT " (F.7) PLOTTER.GRAPH"
1390 PRINT " (STOP) END"
1400 CONSOLE 20,5:LOCATE 1,14:CLS 1
1410 KEY 1,"MEAS"
1420 KEY 2,"PLOT"
1430 KEY 3,"SAVE"
1440 KEY 4,"LOAD"
1450 KEY 5,"AXIS"
1460 KEY 6,"FRAME"

```

```

1470 KEY 7,"GRAPH"
1480 *RESTART
1490 FOR I=1 TO 8:KEY(I) ON:NEXT I
1500 ON KEY GOSUB *MEASUREMENT,*IV.PLOT,*DATA.SAVE,*DATA.LOAD,*AXIS,*FRAME,*PLOTING
1510 YPOS0=0:YPOS=4
1520 BEEP 1:FOR I=0 TO 50:NEXT I:BEEP 0
1530 '
1540 *WAITING
1550 '
1560 GOTO *WAITING
1570 '
1580 '*****
1590 *SCR
1600 '
1610 LOCATE 1,14:CLS 3
1620 FOR I=0 TO XDE
1630   XLINE=XOFS+CXSPAN/XDE*I
1640   LINE(XLINE,YMIN)-(XLINE,YOFS),7
1650   PRTX=XLINE-9:PRTY=YOFS+4
1660   PRT$=STR$(XNOS/XDE*I)
1670   GOSUB *PUT.MOJI
1680   BEEP 1:BEEP 0
1690 NEXT I
1700 FOR I=0 TO YDE
1710   YLINE=YOFS-260/YDE*I
1720   LINE (XOFS,YLINE)-(XMAX,YLINE),7
1730   PRTX=XOFS-35:PRTY=YLINE-4
1740   PRT$=STR$(YNOS/YDE*I*1000)
1750   GOSUB *PUT.MOJI
1760   BEEP 1:BEEP 0
1770 NEXT
1780   LINE(XOFS,YMIN)-(XMAX,YOFS),1,B
1790 '
1800 LOCATE 0,0:PRINT "F E T I d - V g 自動測定"
1810 LOCATE 49,18: PRINT "電圧 [V]"
1820 LOCATE 24, 6: PRINT "電":LOCATE 24, 8:PRINT"流":LOCATE 22,10:PRINT" [mA]"
1830 RETURN
1840 '*****
1850 *MEASUREMENT
1860 '          GP - I Bの初期化
1870 PRINT @17; "A2T3"
1880 PRINT @ 2; "V5L0L6"
1890 PRINT @ 7; "R5S1DLO"
1900 GOSUB *SCR
1910 '-----
1920 *MEASURE
1930 '
1940 FOR I=1 TO 8:KEY (I) OFF:NEXT
1950 LOCATE 0,18

```

```

1960 PRINT USING "G.MIN ##.#/G.MAX ##.#/G.DEL ##.##";G.MIN;G.MAX;G.DEL
1970 CLS 1
1980 LOCATE 0,20:PRINT "電圧の設定を変えますか。":Q$=INKEY$
1990 IF Q$="Y" OR Q$="y" THEN 2010
2000 IF Q$="N" OR Q$="n" THEN 2080 ELSE 1980
2010 CLS 1:LOCATE 0,20
2020 INPUT "ゲート 電圧 (G.MIN,G.MAX,G.DEL)",G.MIN,G.MAX,G.DEL
2030 CLS 1:GOTO 1950
2040 '
2050     LOCATE 1,14
2060     PRINT USING "電圧V b s = ##.#      [ V ]";G.VOL:PRINT
2070 '-----
2080 'Vg CONTROL
2090     PRINT @2;"D+00.0000E"
2100     I=1
2110     LINE INPUT @7;ZAP$:ZAP=VAL(ZAP$)
2120     FOR G.VOL= G.MIN TO G.MAX STEP G.DEL
2130         G.BIAS$="D+"+STR$(G.VOL)+"E"
2140         PRINT @2;G.BIAS$:FOR F=1 TO 1000:NEXT
2150 '
2160 ' --- Id MEASURE -----
2170 '
2180     LINE INPUT @7;ROOT.ID$
2190     ROOT.ID=VAL(ROOT.ID$)
2200     IF G.MAX>0 THEN GOTO 2210 ELSE GOTO 2240
2210     BUZZ=ROOT.ID-ZAP
2220     IF BUZZ=<0 THEN BUZZ=0
2230     GOTO 2270
2240     BUZZ=ROOT.ID+ZAP
2250     IF BUZZ>=0 THEN BUZZ=0
2260     BUZZ=ABS(BUZZ)
2270     ROOT.ID(I)=SQR(BUZZ)
2280     PLOT(I)=SQR(BUZZ)
2290     LOCATE 1,15
2300     PRINT USING "電圧V g = ##.#      [ V ]";G.VOL
2310     IF ROOT.ID=<0 THEN ROOT.ID=0!
2320     PRINT USING "電流I d = ##.##^ ^ ^ ^ [mA] ";ROOT.ID(I)*1000
2330     XSCR=ABS(XSCL*G.VOL)+XOFS
2340     YSCR=Y_SCL*(ABS(ROOT.ID(I)))+YOFS
2350     IF I=1 THEN *PASS
2360     XSCRO=ABS(XSCL*(G.VOL-G.DEL))+XOFS
2370     YSCRO=Y_SCL*(ABS(ROOT.ID(I-1)))+YOFS
2380     IF ROOT.ID(I)>.01 THEN GOTO 2470
2390     LINE(XSCRO,YSCRO)-(XSCR,YSKR),6
2400     BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2410 '
2420 *PASS
2430 '
2440     I=I+1

```

```

2450 NEXT G.VOL
2460 PRINT @17;"BI 0.00E+00V":PRINT @17;"E"
2470 G.NUM=I
2480 M=(YSCR-YSCRO)/(XSCR-XSCRO):Y=.01:II=I:X=G.VOL
2490 XX=(Y-PLOT(II)/M+X)*(XSCL)+XOFS
2500 YY=Y*(YSCL)+YOFS
2510 LINE(XSCRO,YSCRO)-(XSCR,YSCR),6:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2520 PRINT @2;"D+00.0000E"
2530 FOR I=1 TO 8:KEY(I) ON:NEXT I
2540 CLS 1:RETURN
2550 '*****
2560 *IV.PLOT
2570 '
2580 LOCATE 1,14:CLS 1
2590 GOSUB *SCR
2600 FOR I=1 TO G.NUM
2610 G.VOL=G.MIN+G.DEL*(I-1)
2620 IF XNOS>0 THEN 2690
2630 XSCR=ABS(XSCL*(G.VOL)+XOFS)
2640 YSCR=ABS(YSCL*(PLOT(I))+YOFS)
2650 IF I=1 THEN *PASS1
2660 XSCRO=ABS(XSCL*(G.VOL-G.DEL)+XOFS)
2670 YSCRO=ABS(YSCL*(PLOT(I-1))+YOFS)
2680 IF I=G.NUM THEN GOTO 2800 ELSE 2750
2690 XSCR=XSCL*ABS(G.VOL)+XOFS
2700 YSCR=YSCL*ABS(PLOT(I))+YOFS
2710 IF I=1 THEN *PASS1
2720 XSCRO=XSCL*ABS(G.VOL-G.DEL)+XOFS
2730 YSCRO=YSCL*ABS(PLOT(I-1))+YOFS
2740 IF I=G.NUM THEN GOTO 2800
2750 LINE(XSCRO,YSCRO)-(XSCR,YSCR),6:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2760 BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0:BEEP 1:BEEP 0
2770 '
2780 *PASS1
2790 NEXT I
2800 M=(YSCR-YSCRO)/(XSCR-XSCRO):Y=.01:II=I:X=G.VOL
2810 XX=(Y-PLOT(II)/M+X)*(XSCL)+XOFS
2820 YY=Y*(YSCL)+YOFS
2830 LINE(XSCRO,YSCRO)-(XX,YY),6
2840 IF PLOT$="N" THEN RETURN
2850 GOSUB *PLOTING
2860 RETURN
2870 '*****
2880 *DATA.SAVE
2890 '
2900 FOR I=1 TO 6:KEY (I) OFF:NEXT
2910 CLS 1:LOCATE 1,20:LINE INPUT "SAVE. ファイル名を入力して下さい。";FILENAME$
2920 IF FILENAME$="" THEN 3010
2930 FILENAME$="A:YI-V1Y"+FILENAME$

```

```

2940 OPEN FILENAME$ FOR OUTPUT AS #1
2950 PRINT #1,G.MIN,G.MAX,G.DEL
2960 PRINT #1,G.NUM
2970   FOR I=1 TO G.NUM
2980     PRINT #1,ROOT.ID(I)
2990   NEXT I
3000 CLOSE #1
3010 BEEP 1:FOR I=1 TO 8:KEY (I) ON :NEXT:BEEP 0
3020 LOCATE 1,20:PRINT "
3030 RETURN
3040 '*****
3050 *DATA.LOAD
3060 '
3070 FOR I=1 TO 6:KEY(I) OFF:NEXT I
3080 CLS 1:LOCATE 1,20:LINE INPUT "LOAD. ファイル名を入力して下さい。";FILENAME$
3090 IF FILENAME$="" THEN 3200
3100 FILENAME$="A:YI-V1Y"+FILENAME$
3110 OPEN FILENAME$ FOR INPUT AS #1
3120 INPUT #1,G.MIN,G.MAX,G.DEL
3130 INPUT #1,G.NUM
3140 COUNT=1
3150   FOR I=1 TO G.NUM
3160     INPUT #1,ROOT.ID(I)
3170     PLOT(I)=ROOT.ID(I)
3180   NEXT I
3190 CLOSE #1
3200 BEEP 1:FOR I=1 TO 8:KEY(I) ON:NEXT I:BEEP 0
3210 LOCATE 1,20:PRINT "
3220 RETURN
3230 '*****
3240 *CURRENT.OVER
3250 '
3260 ISET IFC
3270 LOCATE 1,20
3280 PRINT "CURRENT OVER !"
3290 END :GOTO 1170
3300 '*****
3310 *ERR.TRAP
3320 '
3330 LOCATE 1,15:PRINT "ERROR IN";ERL;" CODE No.";ERR
3340 EF=0:RESUME *RESTART
3350 '*****
3360 *FINE
3370 '
3380 KEY 1,"load "+CHR$(34)
3390 KEY 2,"auto "
3400 KEY 3,"go to"
3410 KEY 4,"list "
3420 KEY 5,"run"+CHR$(13)

```

```

3430 KEY 6,"save "+CHR$(34)
3440 KEY 7,"print "
3450 KEY 8,"edit ."+CHR$(13)
3460 ON ERROR GOTO 0 : FOR I=1 TO 8:KEY(I) OFF:NEXT
3470 CONSOLE 0,25,1,1:COLOR 7:CLS 3:STOP OFF:END
3480 GOTO 1150
3490 '*****
3500 'PLOTTER GRAPH PLOT
3510 '*****
3520 *FRAME
3530 '
3535 PRINT @4;"J1,"@
3540 PRINT @4;"M",PXOFS,PYOFS
3550 PRINT @4;"X",2,1800,YDE,40,0,"X",3,1400,XDE,0,40,"X",2,-1800,YDE,0,40,"X",3,-1400,XDE,40,0
3560 PRINT @4;"S50,Q40,"
3570 PXDE=XDE-1:PYDE=YDE-1
3580 FOR I=0 TO XDE
3590 PRINT @4;"M",1400/XDE*I+PXOFS-60,PYOFS-80,"P"+STR$(XNOS/XDE*I) @
3600 NEXT I
3610 FOR I=0 TO YDE
3620 PRINT @4;"M",PXOFS-130,1800/YDE*I+PYOFS-20,"P"+STR$(YNOS/YDE*I*1000!) @
3630 NEXT I
3640 PRINT @4;"M",PXOFS+20,PYOFS+1800+100,"S60,Q50,PMOSFET Id-Vg Characteristics" @
3650 PRINT @4;"M",PXOFS+300,PYOFS-170,"S50,Q40,PGate Voltage Vg [V]" @
3660 '' PRINT @4;"M",PXOFS+600,PYOFS-250,"PVg =" +STR$(G.MIN)+" to"+STR$(G.MAX)+" step"+STR$(G.DEL)
[V]" @
3670 PRINT @4;"M",PXOFS-150,PYOFS+360,"R900,PRoot Drain Current Id [mA]" @
3680 PRINT @4;"R0," @
3690 PRINT @4;"J0," @
3700 RETURN
3710 '*****
3720 *PLOTING
3730 '
3740 PRINT @4;"J2," @
3750 J=0
3760 FOR I=1 TO G.NUM:J=J+1
3770 G.VOL=G.MIN+G.DEL*(I-1)
3780 IF XNOS>0 THEN 3830
3790 PXPLT=INT(ABS(PXSCL*G.VOL)+PXOFS+.5)
3800 PYPLT=INT(ABS(PYSCL*PLOT(I))+PYOFS+.5)
3810 IF J=G.NUM THEN GOTO 3880
3820 GOTO 3860
3830 PXPLT=INT(PXSCL*ABS(G.VOL)+PXOFS+.5)
3840 PYPLT=INT(PYSCL*ABS(PLOT(I))+PYOFS+.5)
3850 IF J=G.NUM THEN GOTO 3880
3860 IF I=1 THEN PRINT @4;"M",PXPLT,PYPLT ELSE PRINT @4;"D",PXPLT,PYPLT
3870 NEXT I
3880 II=J
3890 M=(PLOT(II)-PLOT(II-1))/(G.VOL-(G.VOL-G.DEL)):Y=.01:X=G.VOL

```

```

3900      XX=((Y-PLOT(II))/M+X)*(PXSCS)+PXOFS
3910      YY=Y*(PYSCL)+PYOFS
3920      PRINT @4;"D",XX,YY :PRINT @4;"H"
3930 PRINT @4;"J0,"
3940 PRINT @4;"H"
3950 RETURN
3960 '*****
3970 *AXIS
3980 '
3990 FOR I=1 TO 8 :KEY (I) OFF :NEXT I
4000 CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "X軸の最大値 ###.## [V]";XNOS
4010 LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",XNOS:D.MAX=XNOS
4020 CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "Y軸の最大値 ###.## [mA]";YNOS*1000
4030 LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",YNOS:YNOS=YNOS/1000
4040 CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "X軸の分割数 ##";XDE
4050 LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",XDE
4060 CLS 1:LOCATE 1,20:PRINT USING "Y軸の分割数 ##";YDE
4070 LOCATE 1,21:INPUT "新しい値を入力して下さい。",YDE
4080 CLS 1:XSCS=360/XNOS:YSCS=-260/YNOS :           '軸のスケールの長さ
4090 PXSCS=1400/XNOS:PYSCL=1800/YNOS
4100 LOCATE 1,20:PRINT "
4110 FOR I=1 TO 8 :KEY (I) ON :NEXT I
4120 RETURN
4130 '*****
4140 *PUT.MOJI
4150 '
4160 AA=LEN(PRT$)
4170 FOR ZZ=1 TO AA
4180 PP=ASC(MID$(PRT$,ZZ,1))
4190 PUT (PRTX+8*(ZZ-1),PRTY),KANJI(&H100+PP)
4200 NEXT ZZ
4210 RETURN

```