

半 導 体 特 性 自 動 測 定 装 置

Automatic Semiconductor Characteristic Measuring Logger

白 石 久 敬* 今 山 康*
Hisayoshi Shiraiishi Yasushi Imayama
菅 慈 視** 高 橋 昇**
Mutsumi Suge Noboru Takahashi

要 旨

半導体工業の進歩は著しく多種多量の製品が量産されている。今度、量産ラインの一工程で使用される高精度半導体特性自動測定装置を製作し日立製作所武蔵工場に納入した。この装置は納入後順調に稼働し半導体生産の一助となっている。本稿では装置の概要について述べる。

1. 緒 言

近年の半導体工業の進歩は著しく各種の製品が開発され、量産されている。このため半導体製品の特性を自動的に、かつ高精度に測定する装置が要望されている。

この種の大規模な自動測定装置については国産では日立製作所が日本電信電話公社電気通信研究所(以下、電通研と略す)に昭和39年3月に納めたものが代表的なものである。

このたび電通研納の半導体特性自動測定装置にさらに機能を向上させた装置を開発し、日立製作所武蔵工場に納入したのでこれに関して概要を述べる。

本装置は生産ラインの検査工程の試験器として使うばかりでなく、半導体寿命試験のデータ測定や新製品開発の手段にも使われるため、多目的、多項目、広範囲の測定装置である。このため製作にあたっては電気的性能がすぐれていることはもちろんであるが装置として十分な信頼性をもつこと、さらに操作が簡単でかつ安定性の高いことを目標とした。

以下装置の詳細につき説明する。

2. 装置の概要

本装置の概観を図1に示す。

本装置は1個ずつの高精度測定と、スキャナーを用いた多量測定との二つの機能をもっている。測定手順に従い概要を述べる。

測定にあたってはまずIBMカードによる条件設定を行なう。2枚のIBMカードにより任意の組合せの測定項目を設定することができる。使用するカードを図2に示す。測定項目を指定したカードをカードリーダーにそう入し、10項目中測定不要の項目があればその項目に該当番号のスキップスイッチを押す。次に試料ボックスに測定すべき試料をそう入する(スキャナー使用の場合には試料をあらかじめ実装したプリント板をスキャナーにそう入する)。試料ボックスのふたをしてスタートボタンを押す。測定項目1より測定し、結果を表示するとともにタイプライタにより作表し同時に信頼統計処理のためのテープをせん孔する。1個の試料についての測定は同様にして10項目まで行なわれる。

測定項目ならびに条件設定範囲、測定範囲は表1に示すとおりである。

被測定試料は図1に見られる試料ボックスにそう入されるがボックスのふたをしなければ測定ができない。これは測定条件によっては試料の端子に600Vという高電圧が加わることがあり、操作上の安全性を確保するためである。多量測定にはスキャナーが使用され

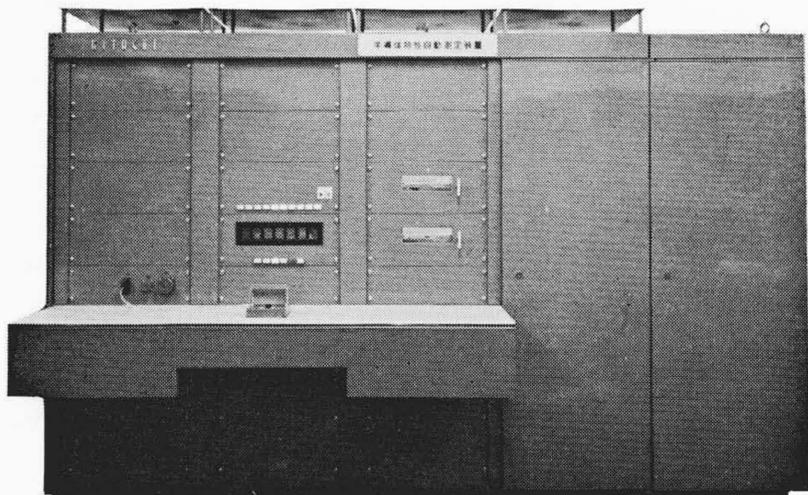


図1 装置外観

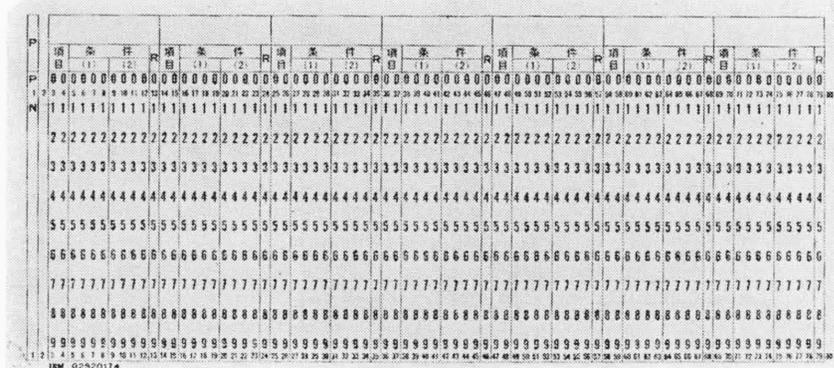


図2 条件設定カード

る。スキャナーの切換にはリーク電流ならびに浮遊容量に特別な仕様を設けて特注した水銀リレーを使用した。また本装置は後述するようにいくつかの基本となる電圧電流設定装置、検出器より構成され、測定条件により組合せを選択するが、これらの装置の切換にも同じく水銀リレーが使用されている。

3. 測定システムと測定回路

本測定装置を製作するにあたっては次のことに重点をおいた。すなわち

- (1) 測定範囲の広範囲化 電通研納測定装置に対し設定条件、測定範囲ともに1けた以上広くする。
- (2) 測定種目の拡張性 本装置にはスイッチング時間などの動特性を測定する装置は内蔵されていないが、これらの新しい測定種目の増加が容易なシステムとする。
- (3) 信頼性 測定器としての精度が高いと同時に寿命試験などに使用できるように十分な安定性をもったものであること。さらに測定中に試料の特性にかかわらず被測定試料を破損することのない装置であること。

* 日立製作所日立工場
** 日立電子株式会社

表1 測定項目一覧表

測定分類	モード	測定項目	測定範囲	測定精度	条件設定, 精度	備考
リーク電流	DC	$I_{CBO}, I_{CBX}, I_{CEO}$ $I_{CER}, I_{CES}, I_{CEX}$ I_{EBO}	0.1 nA~1 nA	±10%	0.1 V~600 V ±1%	ダイオード特性測定も可
			1 nA~10 nA	±5%		
			10 nA~100 nA	±2%		
			1 μA~100 mA	±1%		
送耐電圧	DC	$V_{CBO}, V_{CBX}, V_{CEO}$ $V_{CER}, V_{CES}, V_{CEX}$ V_{EBO}	1 V~600 V	±0.7%	0.1 μA~500 mA ±1%	ダイオード特性測定も可
			Pulse	$PV_{CBO}, PV_{CBX}, PV_{CEO}$ $PV_{CER}, PV_{CES}, PV_{CEX}$ PV_{EBO}		
増幅率	DC	h_{FE}	2~100	±2%	I_C 0.01 mA~500 A ±1% V_{CE} 0.1 V~50 V ±1%	
			100~1,000			
	Pulse	h_{FE}	2~100	±3%	I_C 1 mA~10 A ±1% V_{CE} 0.1 V~50 V ±1%	
AC DC バイアス	DC	h_{fe}	2~100	測定条件による実用的な範囲で4%以下	I_C, V_{CE} は DC h_{FE} の場合と同じ AC 微小信号 1 kc/s $\frac{1}{10} I_C, \frac{1}{20} I_C, \frac{1}{50} I_C$	
			100~1,000			
ベース電流	DC	I_B	10 nA~100 nA 100 nA~5.00 A	±10% ±1%	DC h_{FE} 測定の場合と同じ	
順方向流	DC	I_F	1 mA~1 A	±1%	電圧 0.1 V~5 V ±1%	ダイオード特性測定
飽和電圧	DC	$V_{CE(SAT)}$ $V_{BE(SAT)}$	10 mV~10 V	±2%	I_C, I_B ともに 0.01 mA~5 A ±1%	ダイオード特性測定も可 電流条件は I_C に同じ
			Pulse	$PV_{CE(SAT)}$ $PV_{BE(SAT)}$		
ベータミニ電圧	DC	V_{BE}	10 mV~10 V	±2%	I_C 0.01 mA~5 A ±1% V_{CE} 0.1 V~50 V ±1%	

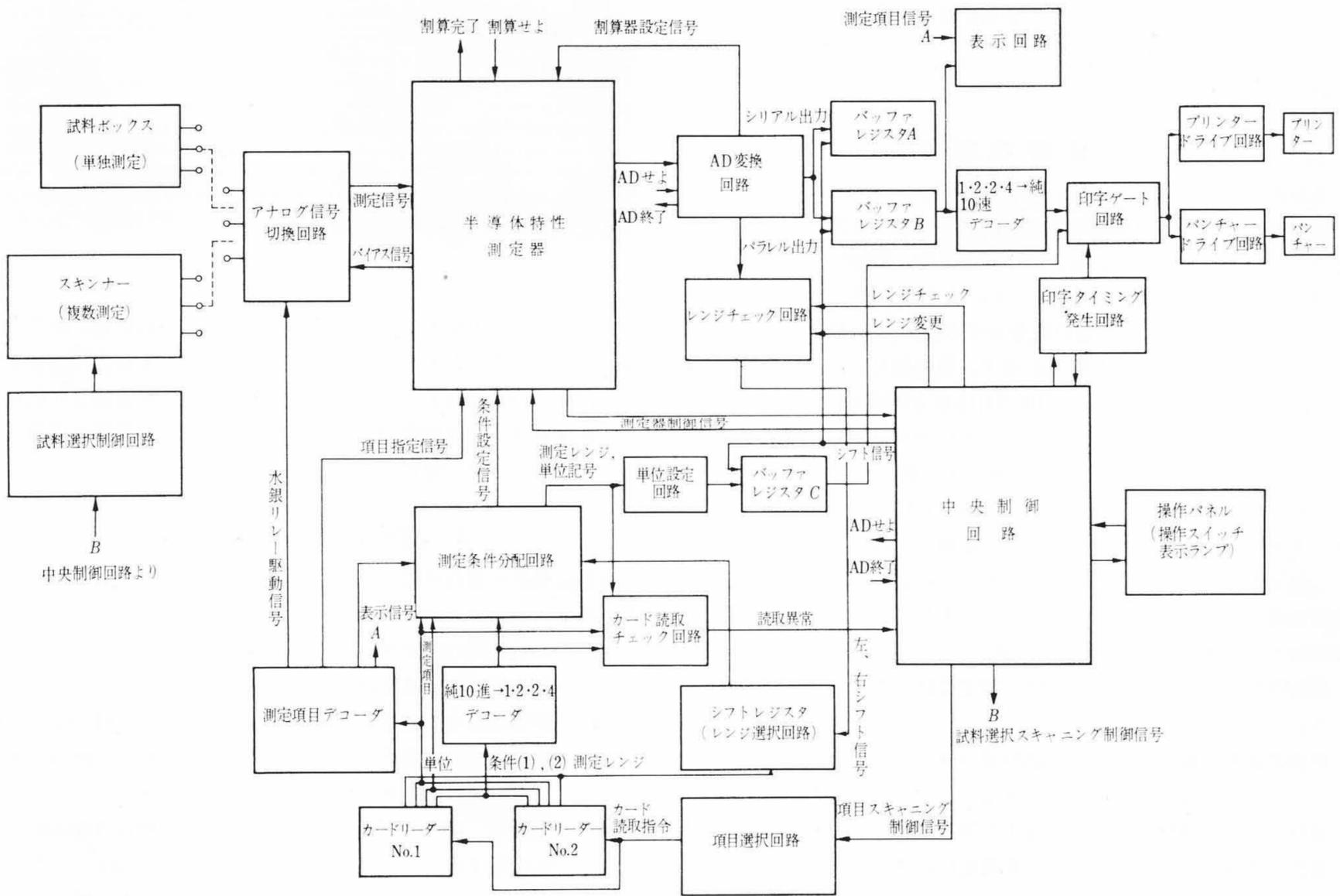


図3 測定システムブロック図

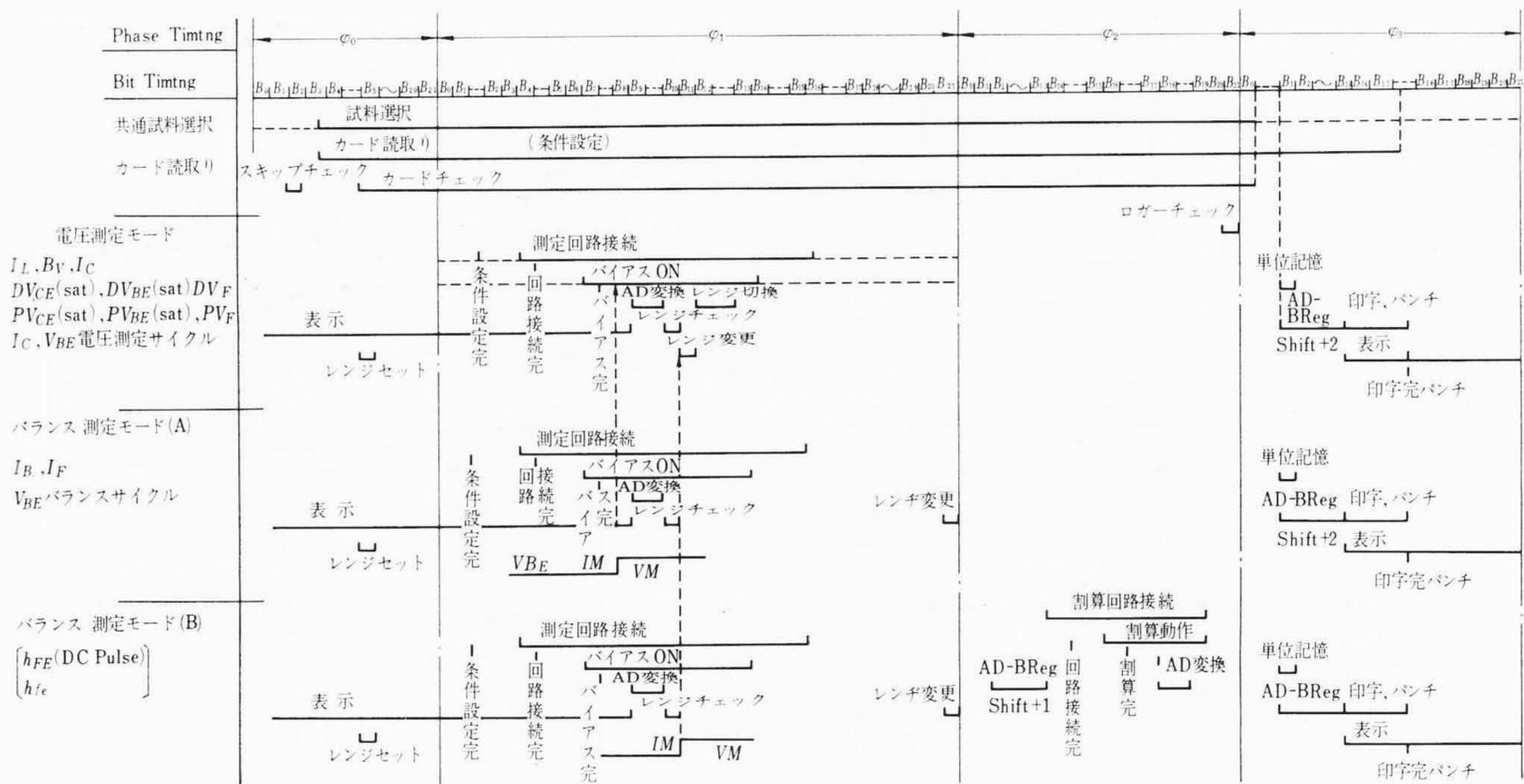


図4 測定システム動作タイムチャート

- (4) 使いやすさ 生産ラインの1工程で使用されるため人間工学的にみて使いやすくかつ操作が安全であること。
- (5) 測定装置の単純化 いくつかの電圧電流発生装置と検出器を用意して測定条件により組合せを変えて所要の測定を行なうことをする、これにより装置の経済性を増す。ただし組合せ上の問題はシステム的に解決すること。

である。

3.1 測定システムの動作

システムの構成を図3に、またその動作タイムチャートを図4に示す。

測定は図3に示すように $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3$ の四つのステップで行なわれる。各ステップは22のビットタイミングにより構成され、装置の状態はビットに同期して変わる。四つのステップは下記の動作を行なう。

- ϕ_0 : 設定条件をパンチしたカードの内容を読み、そのデータをチェックするステップ
- ϕ_1 : ϕ_0 で読み取ったカードの内容に従い試料にバイアスを加え測定を行なうステップ
- ϕ_2 : 直流ならびに交流増幅率を求めるときのみ動作し、 ϕ_1 で得られたベース電流と設定条件のコレクタ電流とにより増幅率を算出するステップ
- ϕ_3 : 測定データを表示すると同時に印字作表を行なうためのステップ

すなわち試料を設置し、条件設定用のカードをセットしてスタートボタンを押すと ϕ_0 ステップにはいり、まず第一項目を測定する必要があるかをチェックする。測定不要のときは $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3$ とスキップして次の項目に移る。測定をする必要のあるときにはカードの内容を読み、その内容が正しいかをチェックし条件設定の準備をして次のステップに移る。 ϕ_2 のステップでは最初に測定回路を接続し、設定電圧電流を試料に印加する。ある時間経過したところで測定となる。測定項目によっては設定条件のバランスに時間を要するものと、必要ないものがあるが後者の場合でも試料の熱時定数を考慮し試料にバイアスをかけてから一定時間経過後測定を行ないデータの再現性を確保している。 ϕ_3 は増幅率を測定するときの

み有用で、 ϕ_2 で測定したベース電流値と条件設定で与えられたコレクタ電流を用いてアナログ割算を行ない増幅率を求める。 ϕ_3 では表示すると同時に統計処理用のテープを作り、またタイプライタにより作表を行なう。表示は次の測定完了して ϕ_3 のステップになるまで行なわれるので表示時間は最低1秒は確保される。

なお ϕ_2, ϕ_3 の動作のみ変化させることにより種々の項目の測定ができ、したがって機能の拡張も容易に行なうことができる。

測定システムにおいてはアナログ測定量の切換が問題で切換タイミングと切換器にくふうを施してある。切換器ではリーク電流と絶縁物の誘電体吸収がまず問題で測定範囲の拡張と測定項目の組合せを制約する、特に誘電体吸収の影響は長時間に及びこの対策には切換リレーの実装を根本的に変える必要があった。リレーの浮遊容量は定電流駆動回路を含む測定系において問題で、特にシリコントランジスタのベース回路はインピーダンスが高く回路の浮遊容量は測定誤差に多大な影響を及ぼす、これに対しては実装上ならびに回路上の対策を行なっている。

この種の素子の測定では測定中に発振現象が起り測定できなくなることが問題である。発振の原因は素子の負特性(リーク電流の負特性)によるものと、能動素子によるものである。前者に対しては後述のように回路的に過電流防止回路により避けられる。また後者に対しては測定系の位相特性をフェライトのビーズなどにより補償する対策を講じている。

3.2 測定回路

測定回路は前述したようにいくつかの電圧電流発生器と検出器との組合せにより構成される。以下の項目ごとに測定回路を説明する。

3.2.1 リーク電流測定回路

設定された試験電圧が被測定素子の二端子間に加えられ、そのときの試料に流れる電流を直流増幅器で増幅する。試験電圧発生回路も直流増幅器により構成され、高圧はブースタアンプで増幅して作られる。この場合には初段の直流増幅器とブースタアンプとの周波数特性に差があると発振したり、ステップ入力に対しオーバーシュート現象が起こる。これに対してはシステムの対策を行なっている。また測定中誤って耐圧の低い試料を差しても破壊

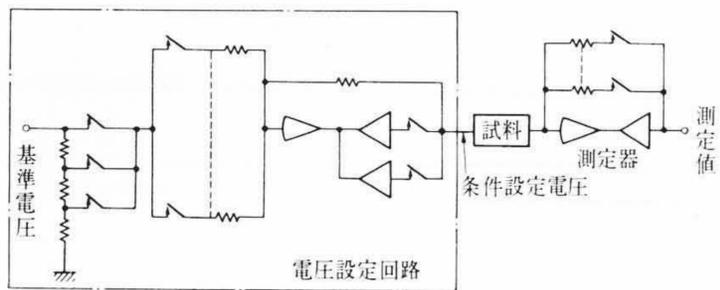


図5 リーク電流測定回路

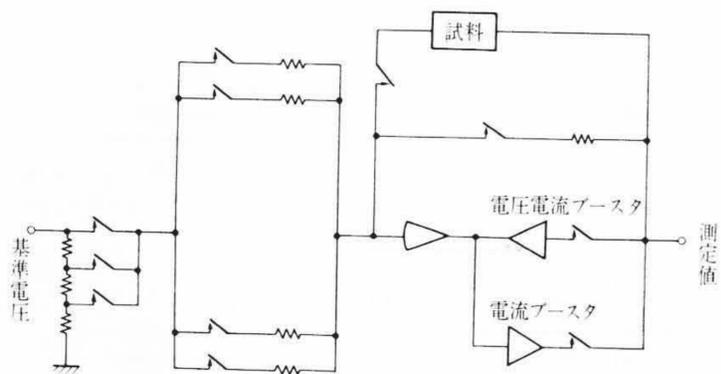
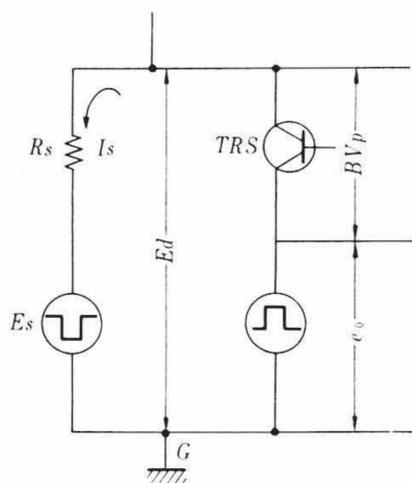


図6 逆耐電圧測定回路



R_s : 基準抵抗電流設定用
 E_s : 基準電圧パルサー (パルス発生器)
 TRS : 被測定トランジスタ
 e_0 : パルスアンプ出力

図7 パルス逆耐電圧測定原理図

することのないよう過電流防止回路を設けている。

なおトランジスタリーク電流特性測定においてはベース、エミッタ間をショート、抵抗接続または電圧を加えることにより I_{CES} , I_{CER} , I_{CEX} などのリーク電流も測定できる。図5は測定回路である。

3.2.2 直流逆耐電圧測定回路

図6に測定回路を示す。

測定用の増幅器はリーク電流測定回路において試験電圧発生回路に使用していたものを兼用している。この増幅器の出力は最大600であり、測定結果は減衰器を通してA-D変換器に接続される。

3.2.3 パルス逆耐電圧測定回路

測定原理を図7により説明する。基準抵抗 R_s に設定電流を流すように E_s をセットする。試料の TRS にその電流に等しい電流が流れるように e_0 を変化させる。 E_d がゼロになったところで所定の電流が試料に流れる(バランスがとれる)。ところでパルス駆動のため精度良くバランスをとるためには非常に多くのパルス数を要するので実際の測定ではまず図6と同様の回路でおおよその電圧を測定してホールドし、ホールド電圧を用いて図7の e_0 を

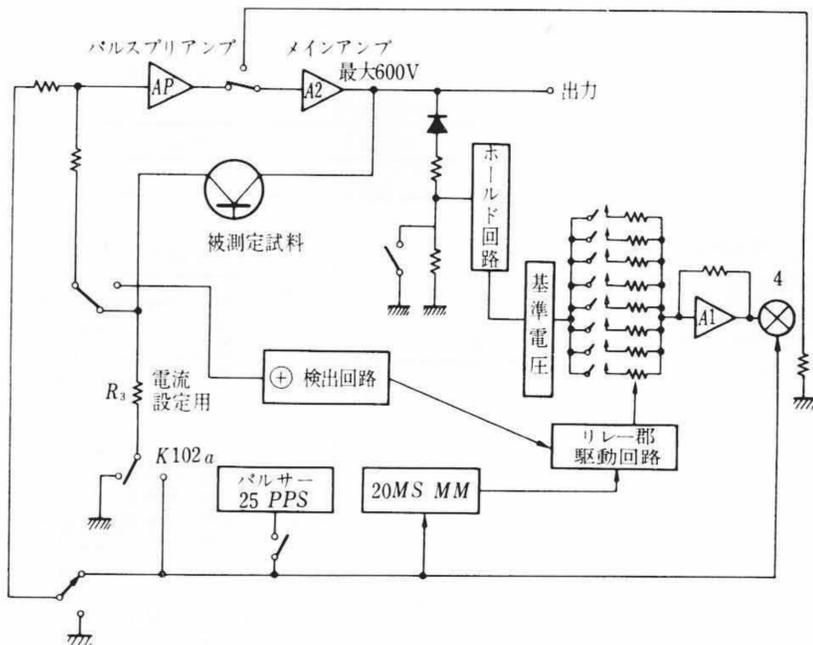
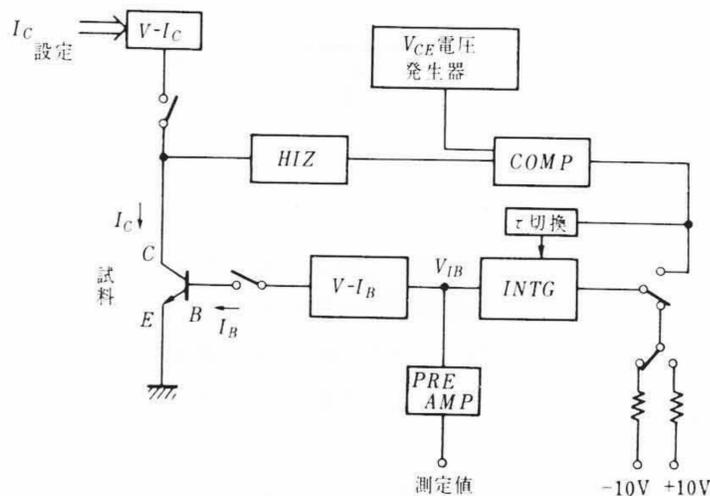


図8 パルス逆耐電圧測定回路



$V-I_c$: コレクタ定電流回路
 $V-I_b$: ベース定電流回路
 HIZ : 高入力インピーダンス回路
 $COMP$: 比較器
 $INTG$: 積分器
 τ 切換: 積分器時定数切換回路

図9 直流三端子測定回路

供給する。この場合数パルスで図7の測定系は高精度にバランスする。図8は測定回路である。

3.2.4 直流三端子測定回路

半導体の三端子特性(直流増幅率、コレクタ・エミッタ間、ベース・エミッタ間順方向電圧)を直流的に測定する回路である。測定回路を図9に示す。この測定回路は使い方により3種の定数を測定することができる。以下おのおのにつき測定動作を説明する。

(1) 直流増幅率

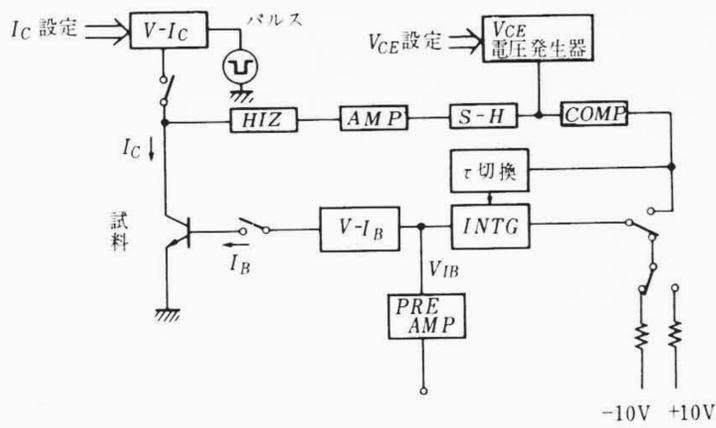
条件としてコレクタ電流 (I_c) とコレクタ・エミッタ間電圧 (V_{CE}) を与える。 I_c を定電流で駆動し設定すべき V_{CE} になるようにベース電流 I_b を調整する。所要の V_{CE} になったところで I_b に比例した電圧 V_{IB} を測定し、この I_b と条件として与えられた I_c とにより直流増幅率を求める。定電流回路は3台の増幅器を用いたものである。

(2) ベース・エミッタ間電圧

(1)の測定と同様の動作で測定回路をバランスさせ、その後トランジスタのベース・エミッタ間の電圧を測定する。この場合エミッタラインには大電流が流れることがある、そのときには線路の電圧降下が測定誤差にならぬようにケルビンコネクションにより電圧測定を行なっている。

(3) コレクタ・エミッタ間電圧

これはトランジスタの飽和コレクタ・エミッタ電圧を測定する



S-H: サンプルホールド回路
図 10 パルス三端子測定回路

ときで、この場合には I_c ならびに I_b が与えられるので測定系のバランスをとる必要がなく測定は速い。

3.2.5 パルス三端子測定回路

直流増幅率をパルスの測定する回路である。原理的には直流測定の場合と同じであるが I_c 駆動を $400 \mu s$, $25 pps$ のパルスで行なうところが異なる。したがって測定系のバランスは I_c のパルスがあるときのみ行なうよう同期をとっているため測定に時間がかかる。このため4段階に I_b 駆動用積分器 (INTG) の時定数を変えて精度の高いバランスをすみやかにとるようにしている。図 10 はその測定回路である。

3.2.6 交流増幅率

交流増幅率の測定は2段階の動作で行なわれる、すなわちまず直流増幅率測定の場合と同様な直流バランスをとる。次に I_c に対して電流値 $1/n$ の $1 kHz$ の正弦波電流 i_c をコレクタ電流に重

畳する。このコレクタ側の変化をフィードバックループを介してベース回路に帰還し交流のバランスをとる。ベース電流の交流分を検出し、コレクタの交流値を用いて交流増幅率を演算する。したがって測定回路は図 9 に交流のループを追加したものとなる。

4. 結 言

以上高精度半導体特性測定装置の概要について述べた。本装置のおもな特長をまとめると下記のようになる。

- (1) 条件設定が容易である。
- (2) 測定項目が多く、さらに項目の拡張性がある。
- (3) 測定範囲が広く、高精度である。
- (4) 操作は簡便で安全性が高い。

本装置の設計にあたっては十分な検討を行ないシステムならびに測定回路を決定したが製作してみると多くの問題が生じ、この解決に多大の労力が必要であった。また精度の確認はむずかしく、特に能動素子の精度確認には問題がある。

なお本装置は現在日立製作所武蔵工場において生産ラインの工程で順調に稼働中である。

本装置の製作にあたっては日立製作所武蔵工場伴野工場長、杉山品質管理課長ならびに品質管理課関係者に絶大なるご指導とご援助をいただいた。またご助言ご協力いただいた中央研究所三浦部長ならびに研究室のかたがた、また日立電子株式会社、日立製作所日立工場の関係者に本誌上を借りて厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 井原, 山田: 日立評論 46, 1474 (昭 39-9)
- (2) 三浦: アナログ電子計算機

第 30 巻 日 立 第 8 号
目 次

- 冷 凍 魚 農 村 を ゆ く
- 阿 波 踊 り
- コールドチェーンを農村に 一全購連の計画始まる
- 自 動 改 札 機
- MIS 時代への招待 第2回
- 冷 房 車 ・ A T S
- 一文明の偉大な連鎖と知恵の戦い
- COLOR SPOT / 乱れなき薄膜の生成
- 開 拓 200 年 への スタート
- 話のロビー / 目下啓蒙中
- 一開道 100 年記念《北海道大博覧会》開催中
- 万博シリーズ / <第7回> みどり館
- 四国発展の動脈 一吉野川総合開発
- サ イ エ ン ス ・ ジ ョ ッ キ ー

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地
郵便番号 100
取次店 株式会社 オーム社書店 振替口座 東京 71824 番
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座 東京 20018 番