

高速スイッチング用半導体素子の 金拡散技術および電気的特性

Gold Diffusion Technique and Electrical Characteristics of High Speed
Semiconductor Switching Devices

太田 雅也* 辻 伸浩* 井出 重喜*
Masaya Ota Nobuhiro Tsuji Shigeki Ide

内 容 梗 概

電子計算機、電子交換機に使用される半導体素子はスイッチング速度が速いこと、および高信頼度であることが必要である。本報告では、高速スイッチング特性を得るための製造基礎技術である金拡散技術および、シリコン・トランジスタならびにダイオード 2SC321⑩, 2SC479⑩, 2SC315⑩, 1S1219⑩, 1S1220⑩, 1S1420⑩ (HS986)を対象とし、電気的特性について述べる。これらのトランジスタ、ダイオードは電子計算機、電子交換機用として十分満足な電気的特性を持っており、また強制寿命試験においても failure rate $5 \times 10^{-6}/h$ 以下であることが実証されている。

1. 緒 言

最近トランジスタがスイッチング回路素子として小消費電力、小形軽量、長寿命および高速性などの点から高い市場占有率を示し始めた。特にプレーナ技術とエピタキシャル技術の進歩によりシリコン素子がスイッチング素子として脚光をあびている。一方、アメリカの半導体業界の発展は高信頼度特性を要求した軍需に支援されてきたために、電子計算機の急激な普及に伴う需要に対しても、つちかわれた高い技術水準は容易に要望に応えうることができ、世界的市場獲得の重要な礎石となった。わが国の半導体業界でも、ようやく国産電子計算機に高信頼度の国産スイッチング用素子を全面的に使用し始めている。

本稿では、おもに電子交換機用素子として開発されているスイッチング用シリコン素子を対象として記述する。最初に、高速スイッチング特性をもつ素子に共通で一般的な製造技術として、金拡散条件と素子の電気的特性との関係について述べる。

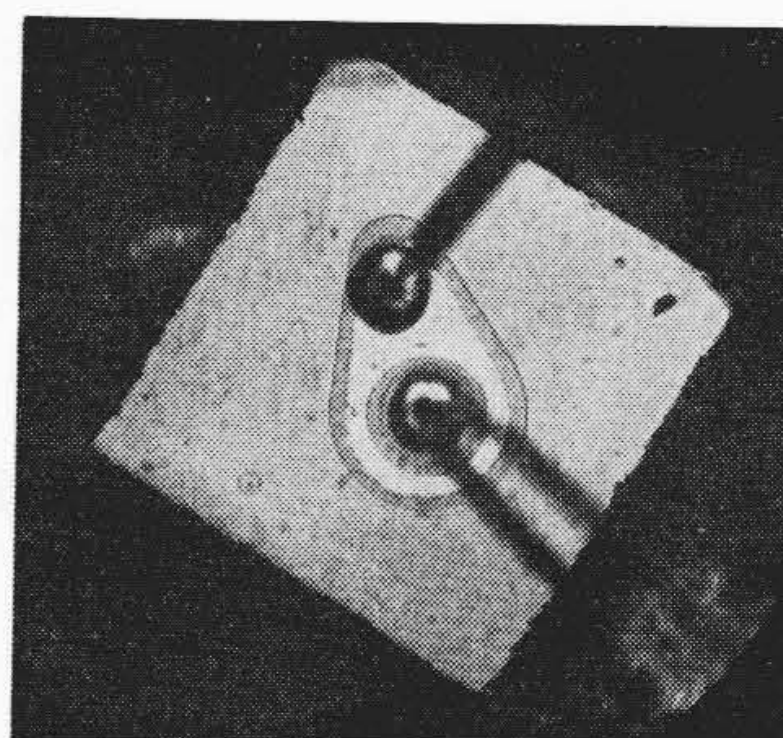
次に、電子交換機に使用される品種の電気的特性を一覧にし、用途別の解説をする。すなわち、論理回路用 1S1219⑩と 2SC321⑩、コアドライブ用 2SC479⑩、電力用スイッチング素子 2SC315⑩、メモリアのステアリング用 1S1220⑩、およびレベルシフト用 1S1420⑩の各品種について述べる。

終わりに、スイッチング素子としては最も重要な信頼度の問題に関して述べる。厳重な生産管理下で組み立てられた各素子は特性に応じた条件のスクリーニングステップを経ることにより failure rate $10^{-8} \sim 10^{-9}/h$ の実用寿命を保証している。

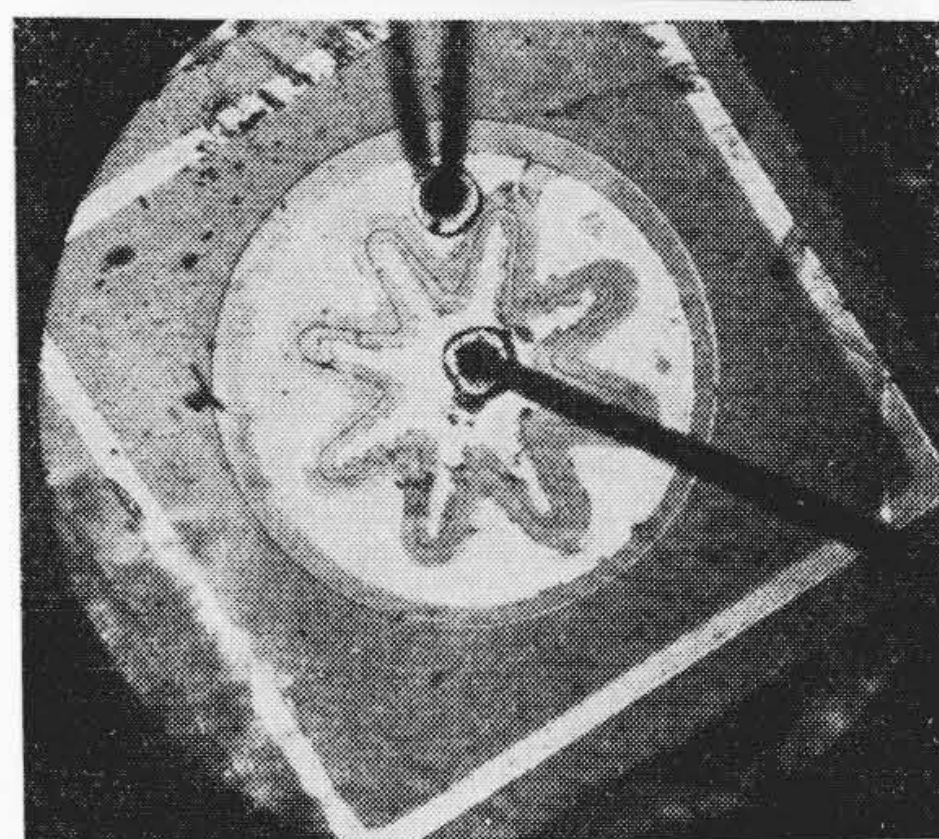
2. 金 拡 散

スイッチング用トランジスタ 2SC321⑩および 2SC479⑩はエピタキシャル・プレーナ形であり、2SC321⑩は高速、小電力スイッチに、2SC479⑩は中速、中電力スイッチに使用される。2SC315⑩は三重拡散形であり、低速、大電力スイッチに使用される。スイッチング用ダイオードの 1S1219⑩、1S1220⑩はエピタキシャル・プレーナ形で高速スイッチングに使用され、1S1420⑩はプレーナ形でレベルシフトに使用される。トランジスタ、ダイオードの組立前、あるいは組立後の外観は第1図に示すとおりである。製造工程の詳細については日立評論 Vol. 47, No. 3, p. 593(昭和40年3月)にゆずり、本報告では、スイッチング・トランジスタ、ダイオード製造上

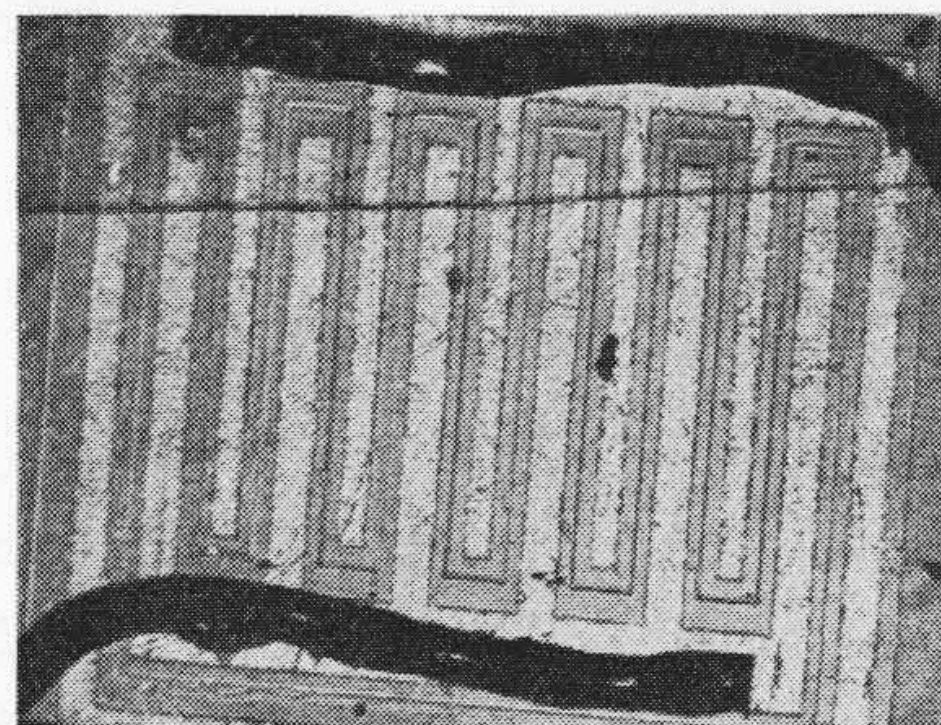
* 日立製作所武蔵工場



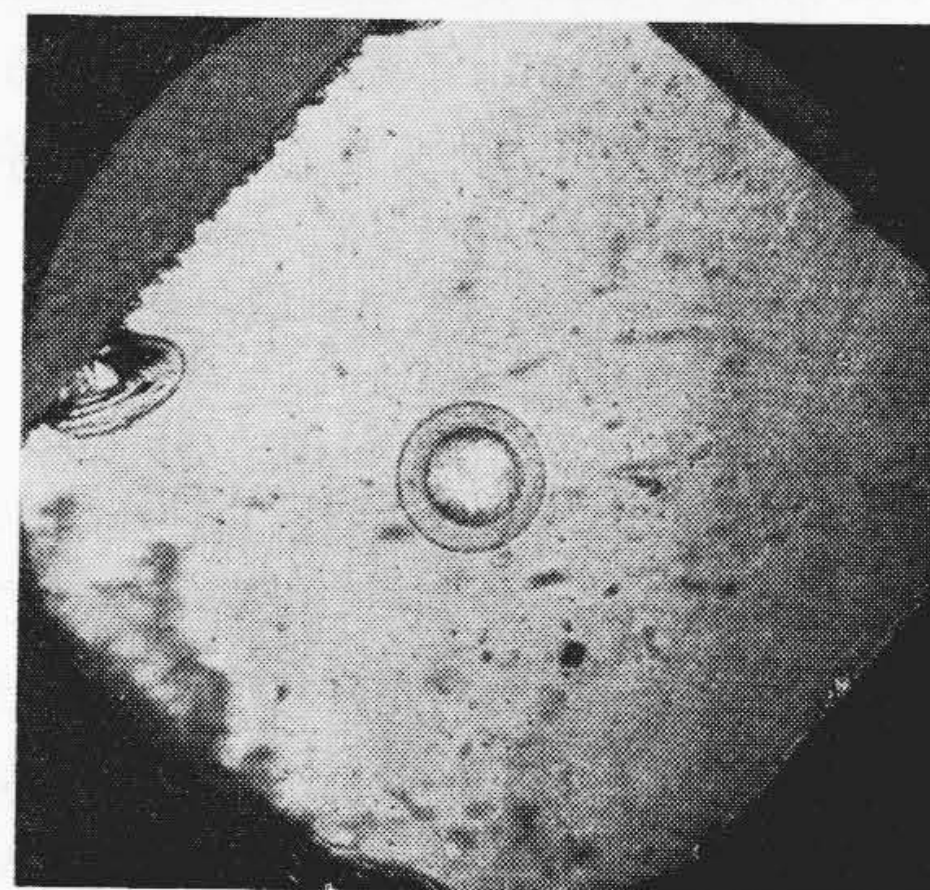
(1) 2SC321⑩の組立後



(2) 2SC479⑩の組立後



(3) 2SC315⑩の組立後



(4) 1S1219, 1S1220の封止前

第1図 トランジスタ、ダイオードの構造

第 1 表 実験に使用した試料

略称	製造法	比 抵 抗	ディスロケー ション密度	外形寸法	結 晶 軸	備 考
FZ	Floating Zone法	Si, n形 1 Ωcm	10 ⁴ /cm ²	直径 2.5 cm 厚さ 200 μ	<111>±3°	n形不純物 は磷
EP	Epitaxial 法	Si, n形 ρ _{EP} : 1 Ωcm d _{EP} : 10 μ	0.5~1.0× 10 ⁴ /cm ²	直径 2.5 cm 厚さ 200 μ	<111>±3°	n形不純物 は磷 ρ _{sub.} =0.01 Ωcm (不純物はア ンチモン)

の key-point となる金拡散技術について述べる。

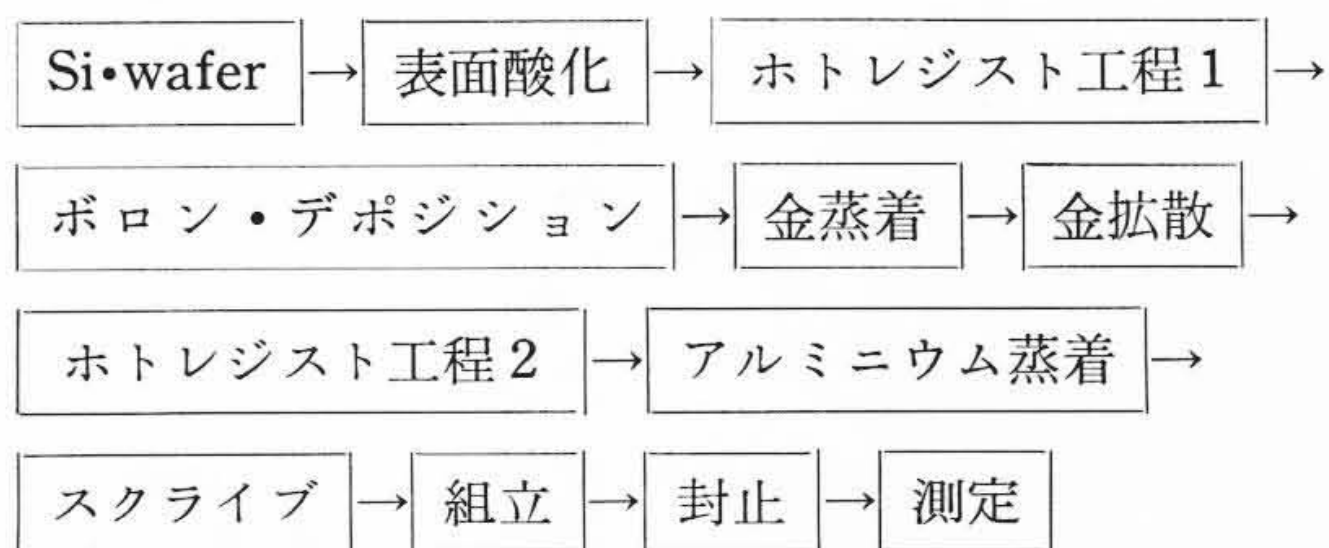
2.1 金 拡 散 の 実 験

シリコンスイッチング・トランジスタ，ダイオードでは一般に life time killer として金の拡散を行なっている。ここでは金拡散の最適条件を設定するために， p^+n 接合を使って，金拡散条件と t_{rr} ， I_R ， C_j ， V_F (t_{rr} : 逆方向回復時間， I_R : 逆方向電流， C_j : 接合容量， V_F : 順方向電圧) との関係測定した結果について述べる。Bakanowski 氏によれば⁽¹⁾， $t_{rr} \propto 1/C_{Au}$ (C_{Au} : 金の濃度)， $I_R \propto C_{Au}$ ， $V_F \rightarrow$ 大 ($C_{Au} \rightarrow$ 大) であり，またわれわれの測定によれば $C_j \rightarrow$ 小 ($C_{Au} \rightarrow$ 大) である。 C_{Au} を大にすれば t_{rr} ， C_j は小になるが， I_R ， V_F は大であるため，スイッチング素子に適用する場合，適当な C_{Au} を設定する必要がある。 C_{Au} は多分に structure sensitive であり，拡散温度，時間，冷却速度のみでは決まらず，結晶のディスロケーション密度などに依存する。実用の素子では，epitaxial wafer を使用する場合が多く，結晶の不均一性(特にディスロケーション密度など)から来る C_{Au} のバラツキ，したがって電気的特性のバラツキが，金拡散なしの wafer に比較して大きい。特にダイオードでは V_F が，トランジスタでは $V_{CE(sat)}$ のバラツキが製造上問題となって来る。

2.1.1 実験に使用した試料

第 1 表に示す 2 種の試料 FZ と EP により実験を行なった。

2.1.2 処 理 方 法



の順で処理する。金拡散は拡散時間を一定とし (60 min)，拡散温度を変え (1,200, 1,100, 1,000, 800, 600°C)，air quenching で行なった。冷却速度は 15°C/s である。

2.1.3 実験結果および考察

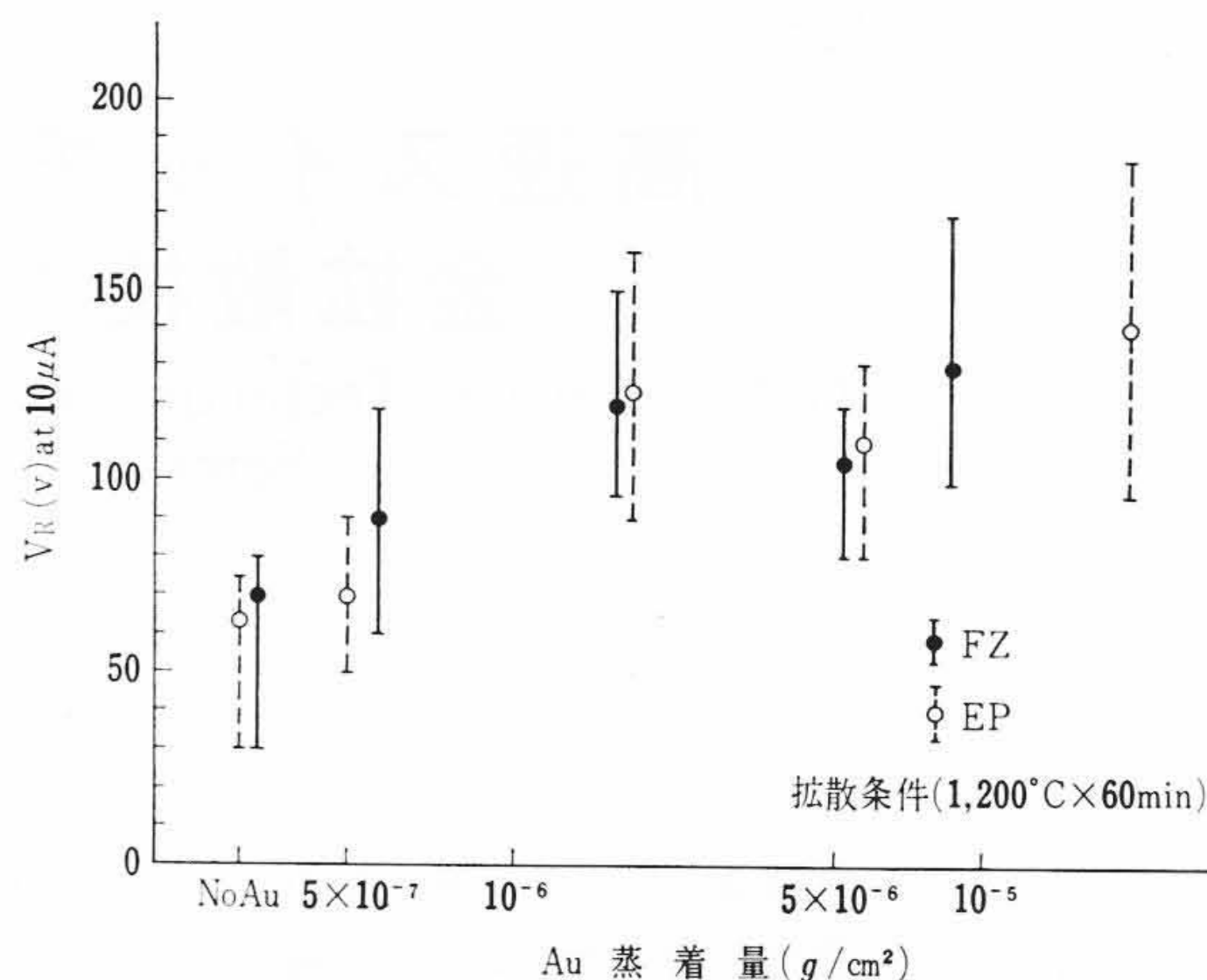
(1) 金蒸着量について

Wafer の裏面に金を蒸着するのであるが，金蒸着量を変え，1,200°C×60 min の熱処理をした後，接合の降伏電圧を測定した。第 2 図にその結果を示す。金蒸着量が 2×10^{-6} g/cm² 以上では降伏電圧は飽和する傾向にある。これより金蒸着量が 2×10^{-6} g/cm² 以上であれば，一応 1,200°C×60 min の熱処理条件で Si 中の金は Solubility limit に達していると考えられる。以下に述べる実験では金蒸着量， 2×10^{-5} g/cm² で行なった。

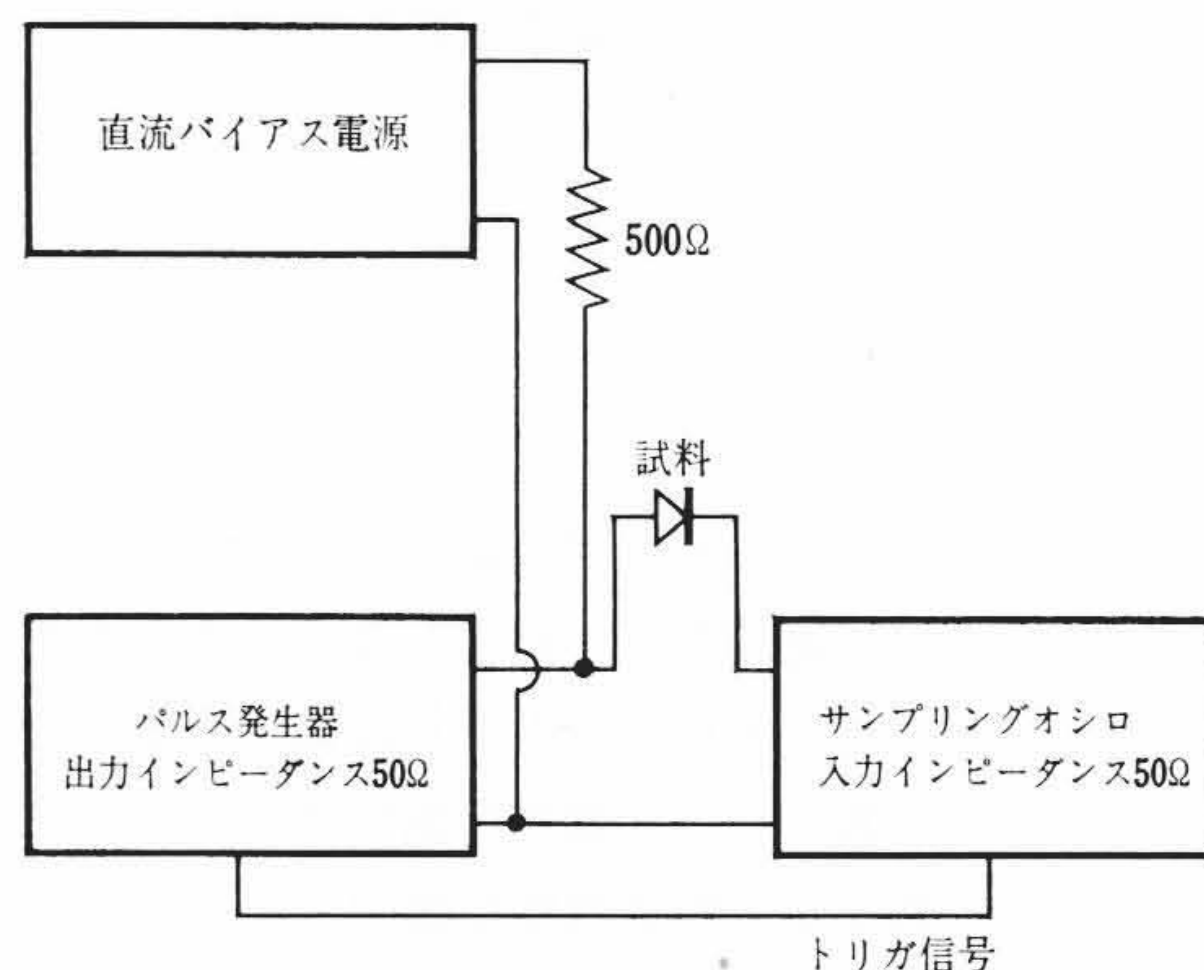
(2) C_{Au} と t_{rr} との関係

(a) t_{rr} の測定について

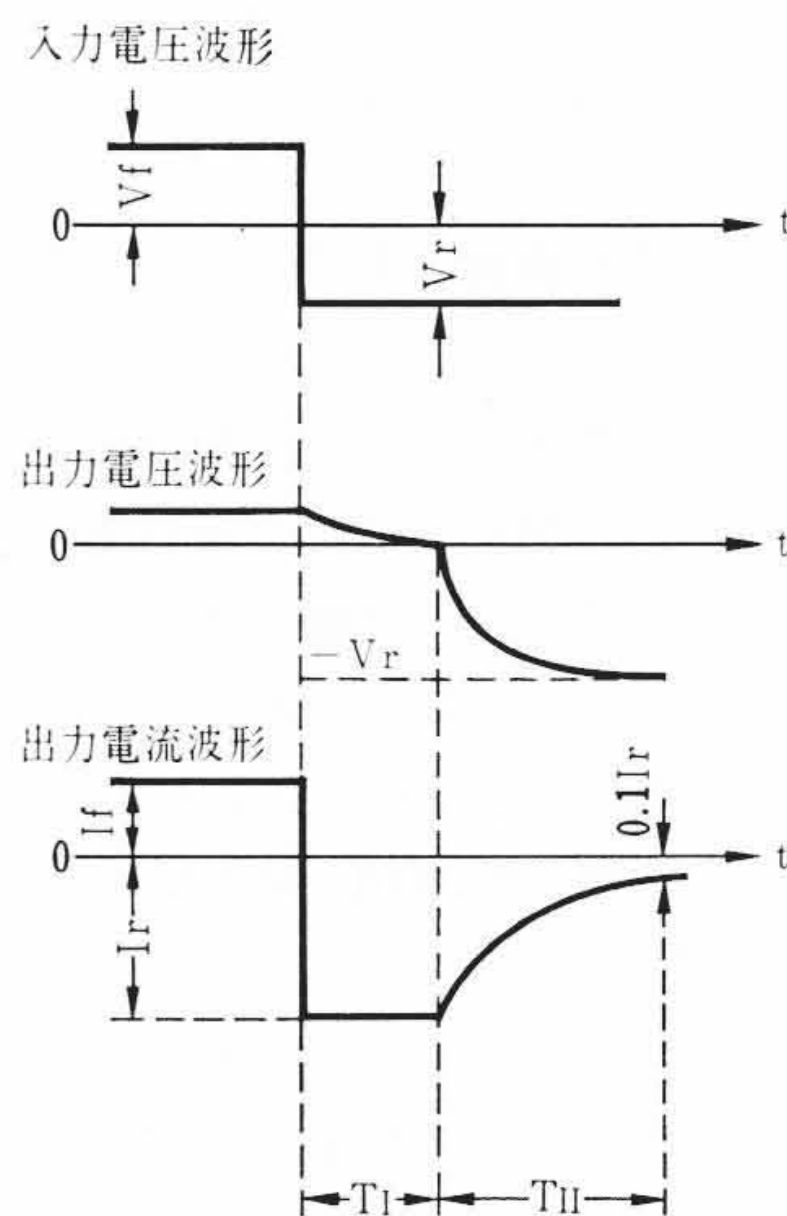
t_{rr} 測定回路を第 3 図に示す。Kingstone 氏の解析⁽²⁾によれば逆方向回復の過渡現象は第 4 図に示すように二段階に分けて考えられる。すなわち第 1 段階では，順方向定常状態より逆方向にスイッチされた直後より T_I の間は外部抵抗により決定される一定電流が逆方向に流れる。第 2 段階では，注入された Minority carrier が消滅するに従い逆方向電流は減衰して行く。



第 2 図 金蒸着量と V_R との関係



第 3 図 t_{rr} 測 定 回 路



第 4 図 逆 方 向 回 復 波 形

0.1 I_r になるまでの時間を T_{II} とすると， t_{rr} は定義より

$$t_{rr} = T_I + T_{II} \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。第 1 段階に関しては Lax, Neustadter 氏の解析があり⁽³⁾， T_I と I_f ， I_r ， τ (正孔の寿命) との間には p^+n step junction の場合，次の関係がある。

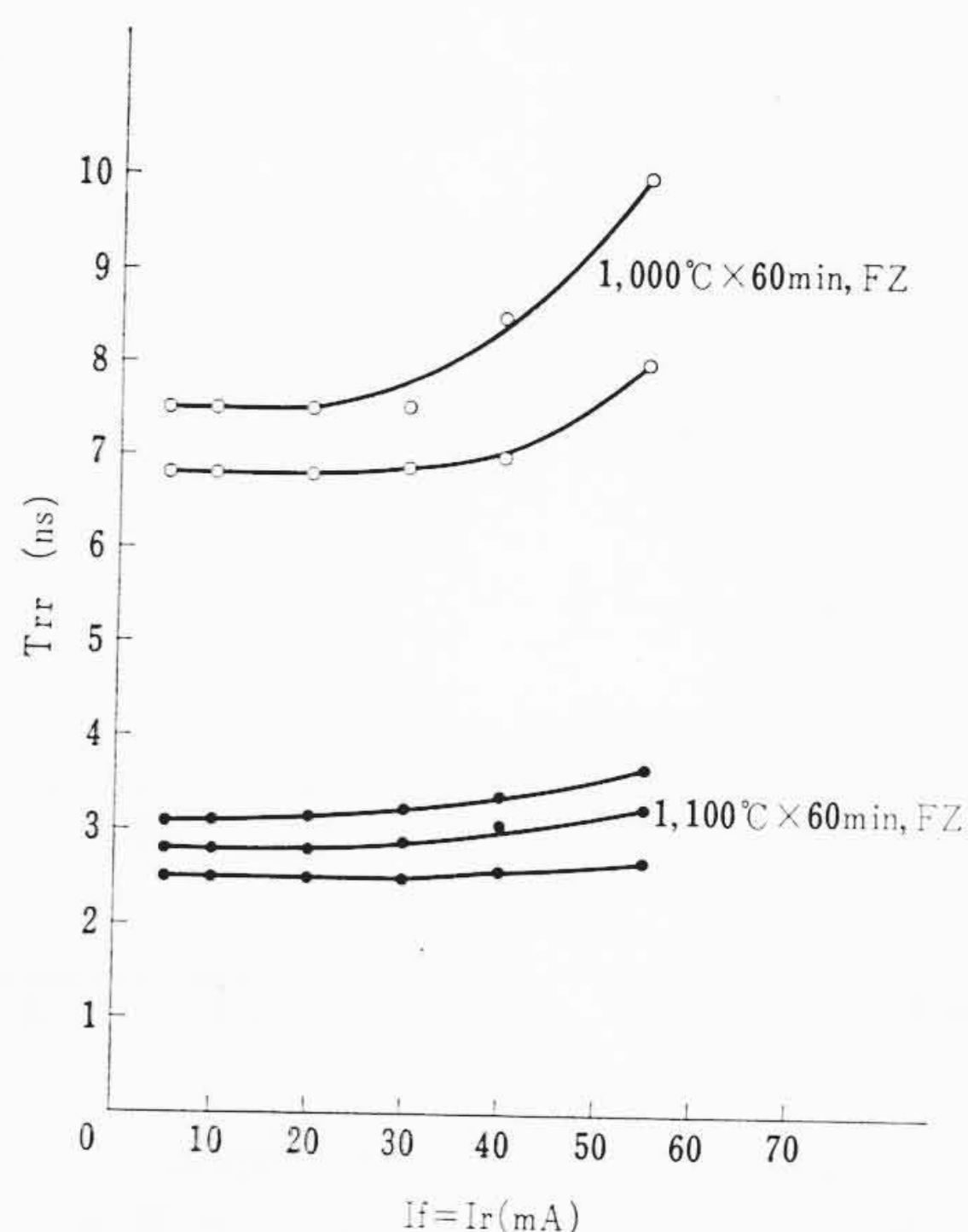
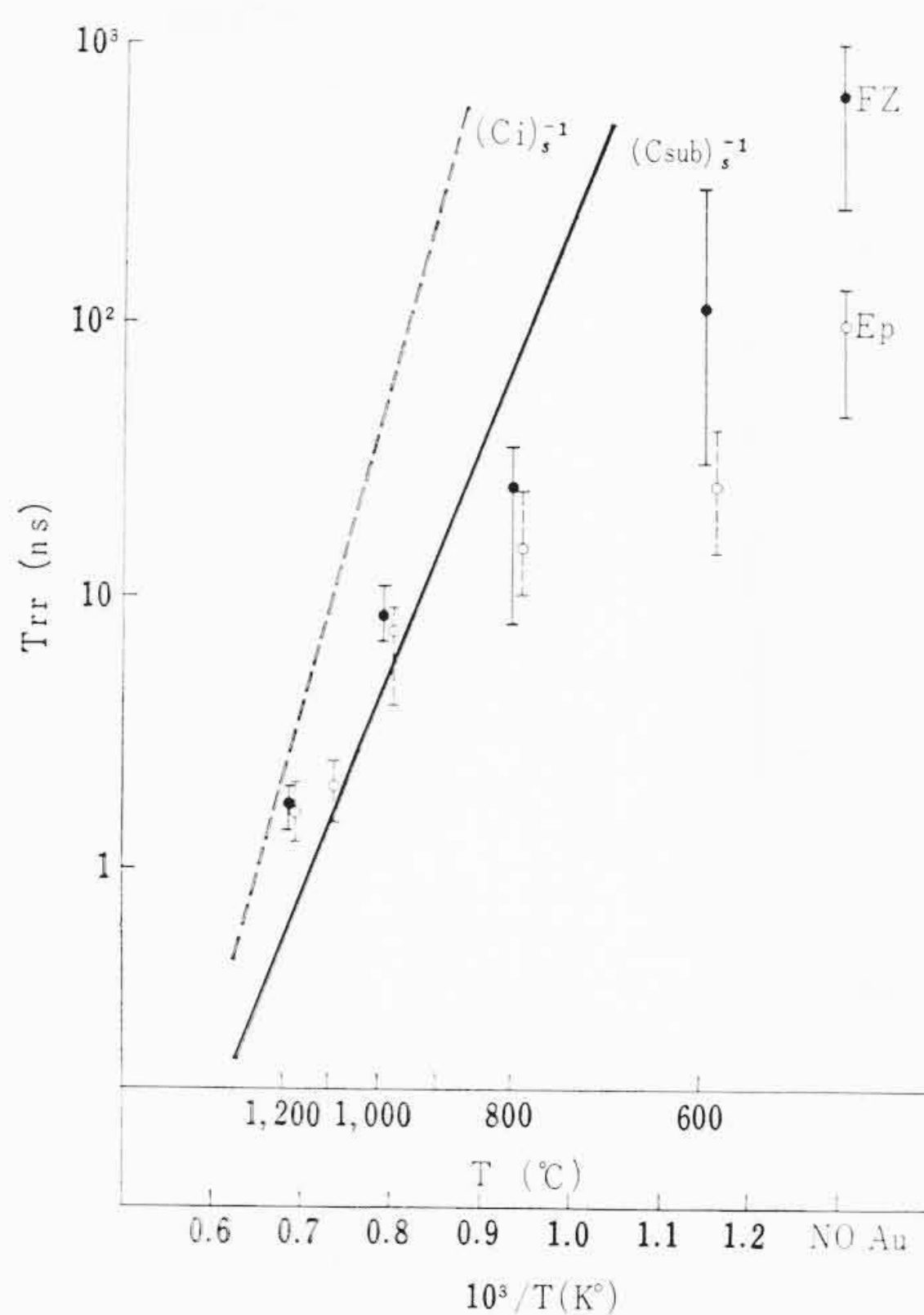
$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{T_I}{\tau}} = \frac{1}{1 + \frac{I_f}{I_r}}$$

$I_f = I_r$ とすれば

$$T_I = 0.12 \tau \dots\dots\dots (2)$$

第 2 段階に関しては Kingstone 氏の解析より

$$T_{II} = 0.6 \tau \dots\dots\dots (3)$$

第5図 t_{rr} の I_f 依存性 ($I_f = I_r$ の場合)

(No Au は金拡散なしの試料)

第6図 Au 拡散温度と t_{rr} との関係

したがって(1), (2), (3)式より

$$t_{rr} = T_I + T_{II} = 0.72 \tau$$

以上の解析によれば $I_f = I_r$ の条件で t_{rr} を測定した場合, t_{rr} と τ とは正比例関係にあり, $I_f (=I_r)$ の値に依存しないといえる。第5図は $I_f = I_r$ の条件の下で I_f と t_{rr} の関係であるが, I_f が 30 mA くらいまでは t_{rr} はほぼ一定である。

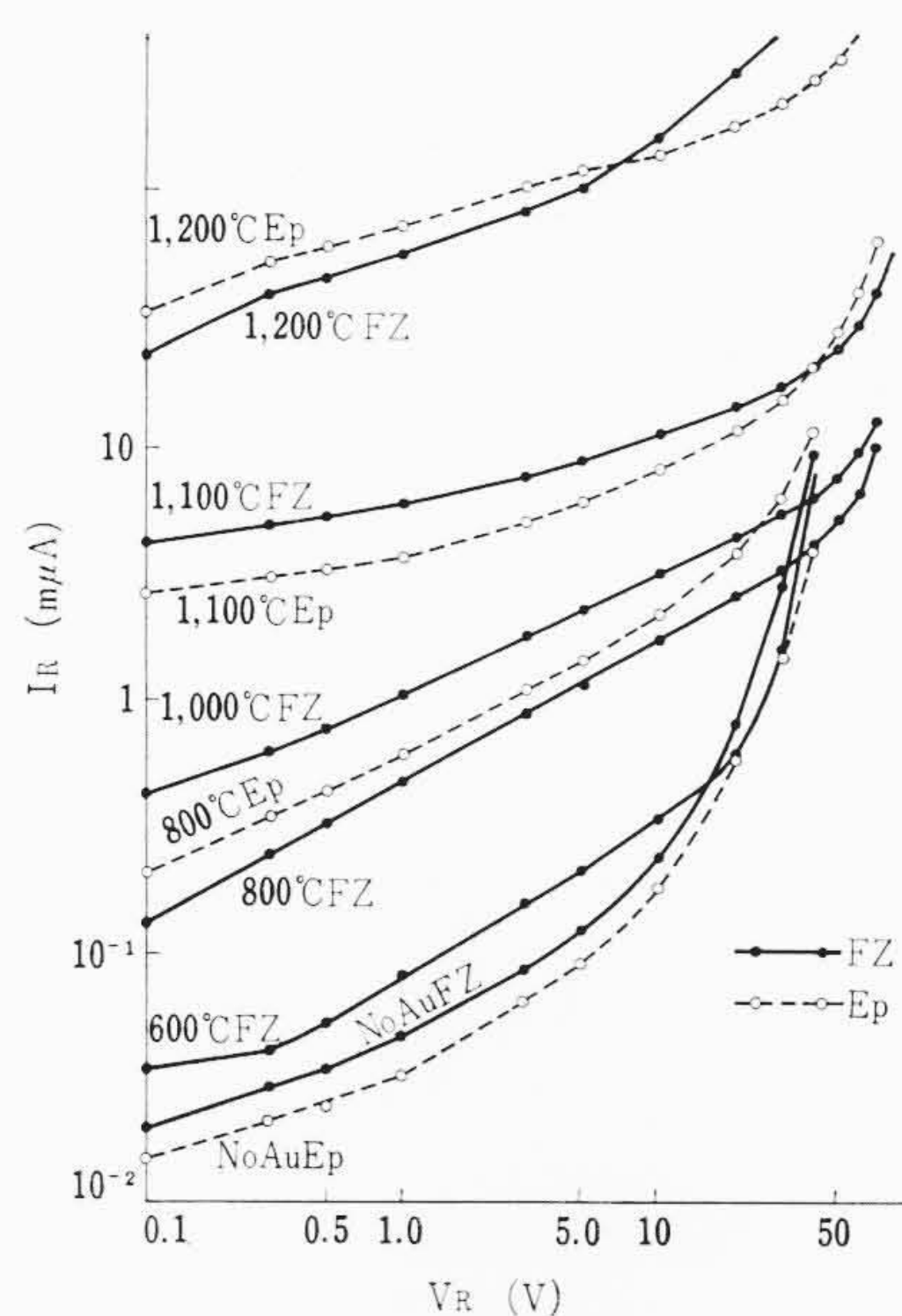
(b) C_{Au} と t_{rr} との関係

第6図は金拡散温度を変えた試料の t_{rr} 測定結果 ($I_f = I_r = 10$ mA) を示したものである。

$$t_{rr} = 0.72 \tau, \quad \tau = \frac{1}{\sigma_{p01} v_p C_{Au}}$$

であるから

$$t_{rr} = 5.2 \times 10^7 \times \frac{1}{C_{Au}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

(ただし $\sigma_{p01} v_p = 1.38 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, Bemski 氏による⁽⁴⁾)(σ_{p01}, v_p は正孔の capture cross section および thermal

(No Au は金拡散なしの試料)

第7図 Au 拡散試料の V_R - I_R 特性

velocity)

$$C_{Au} = K_1 \exp\left(\frac{-K_2}{T}\right) \quad \dots \dots \dots (5)$$

(4), (5) 式より

$$\log t_{rr} = K_3 + K_4/T$$

(ただし K_1, K_2, K_3, K_4 は比例常数, T は拡散温度)

C_{Au} に Wilcox 氏の $(C_i)_s$, $(C_{sub})_s$ ⁽⁵⁾ ($(C_i)_s$ は金が interstitial に拡散した場合の溶解限量, $(C_{sub})_s$ は金が substitutional に拡散した場合の溶解限量) のデータを適用した場合の t_{rr} と $1/T$ の関係が同時に第6図に示されている。これより, 測定値は 1,200°C 近辺では $(C_i)_s^{-1}$ カーブに近く, 1,000°C 近辺では $(C_{sub})_s^{-1}$ カーブに近い, 800°C 以下になると $(C_{sub})_s^{-1}$ カーブよりはるかに離れており, C_{Au} は理論値よりはるかに多いという結果が得られた。また, 800°C 以下で E_p の t_{rr} が FZ より小さくなっているのは, E_p 層厚さが影響しているものと考えられる。(なお, 結晶固有の life time は FZ で 5~10 μs , E_p で 1~10 μs である)

(3) C_{Au} と I_R との関係

第7図に FZ, E_p の V - I 特性の代表例を示す。金拡散温度をパラメータにとってあり, 拡散時間は 60 min である。FZ と E_p とできわ立った差異は見られない。第8図は拡散温度と I_R (at 10 V) との関係を示したものである。Bakanowski 氏によれば

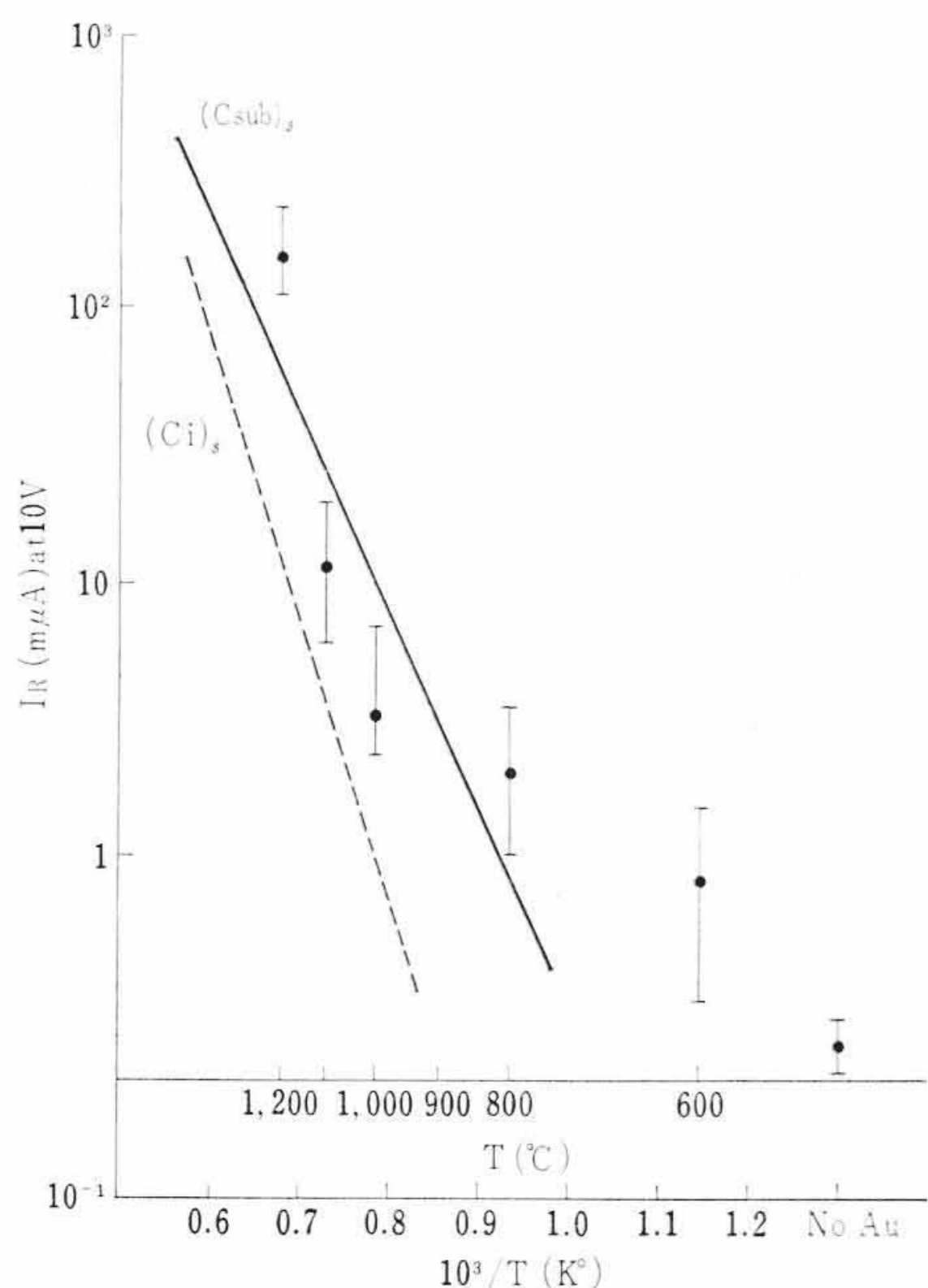
$$I_R = q \frac{n_i C_{Au} W A}{\frac{1}{\sigma_{p01} v_p} + \frac{1}{\sigma_{n01} v_n}} = K C_{Au} \quad (K: \text{比例常数})$$

(ただし, A は接合面積, W は空乏層幅, σ_{n01}, v_n は電子の capture cross section および thermal velocity)

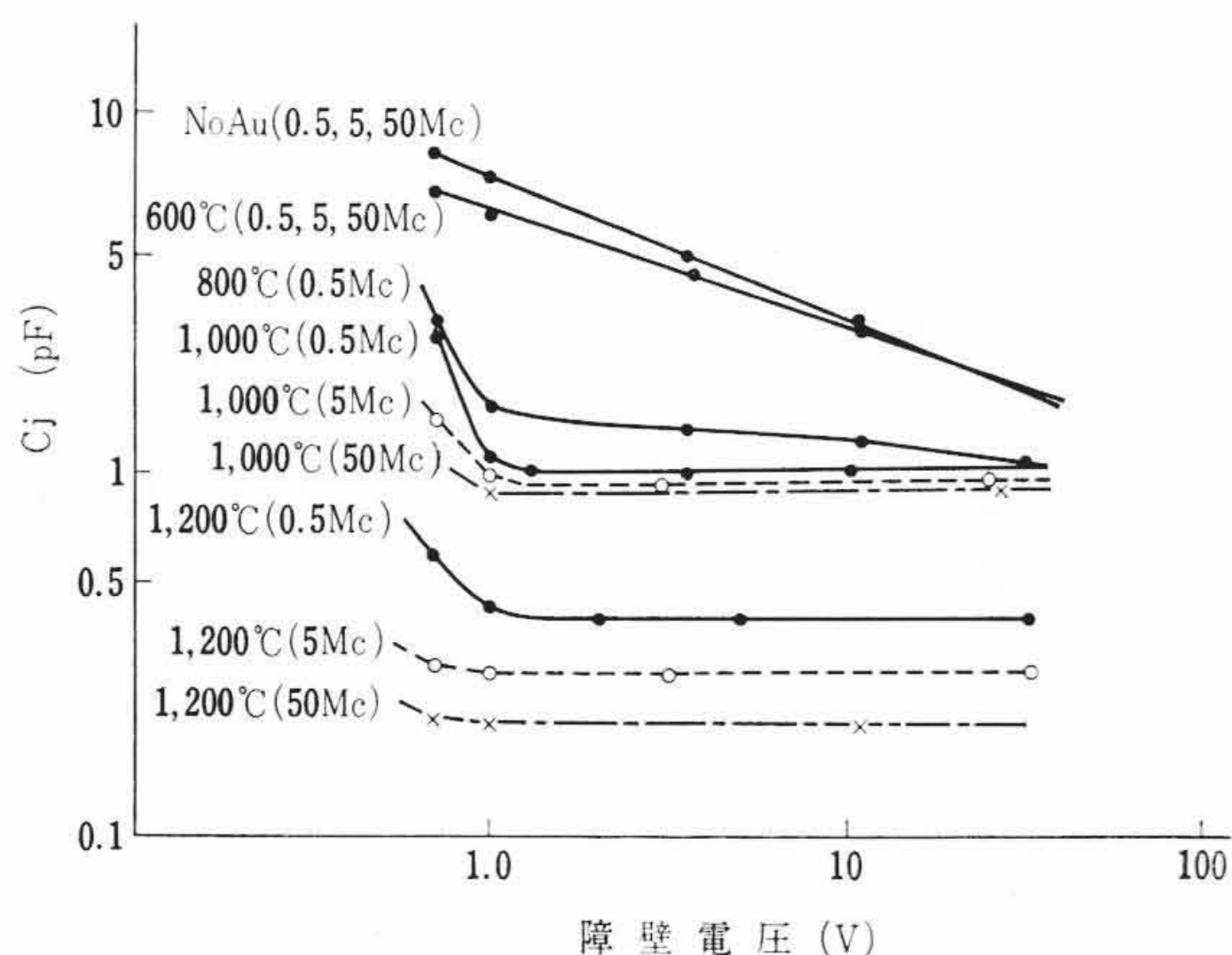
C_{Au} として Wilcox のデータより $(C_i)_s$, $(C_{sub})_s$ を適用した場合の $I_R = K(C_i)_s$, $I_R = K(C_{sub})_s$ が同時に第8図に示されている。1,000~1,200°C の範囲での実測値は理論値と比較的良好に合致しているが, 800°C 以下では, I_R は理論値より大きくなっている。

(4) C_{Au} と C_j との関係

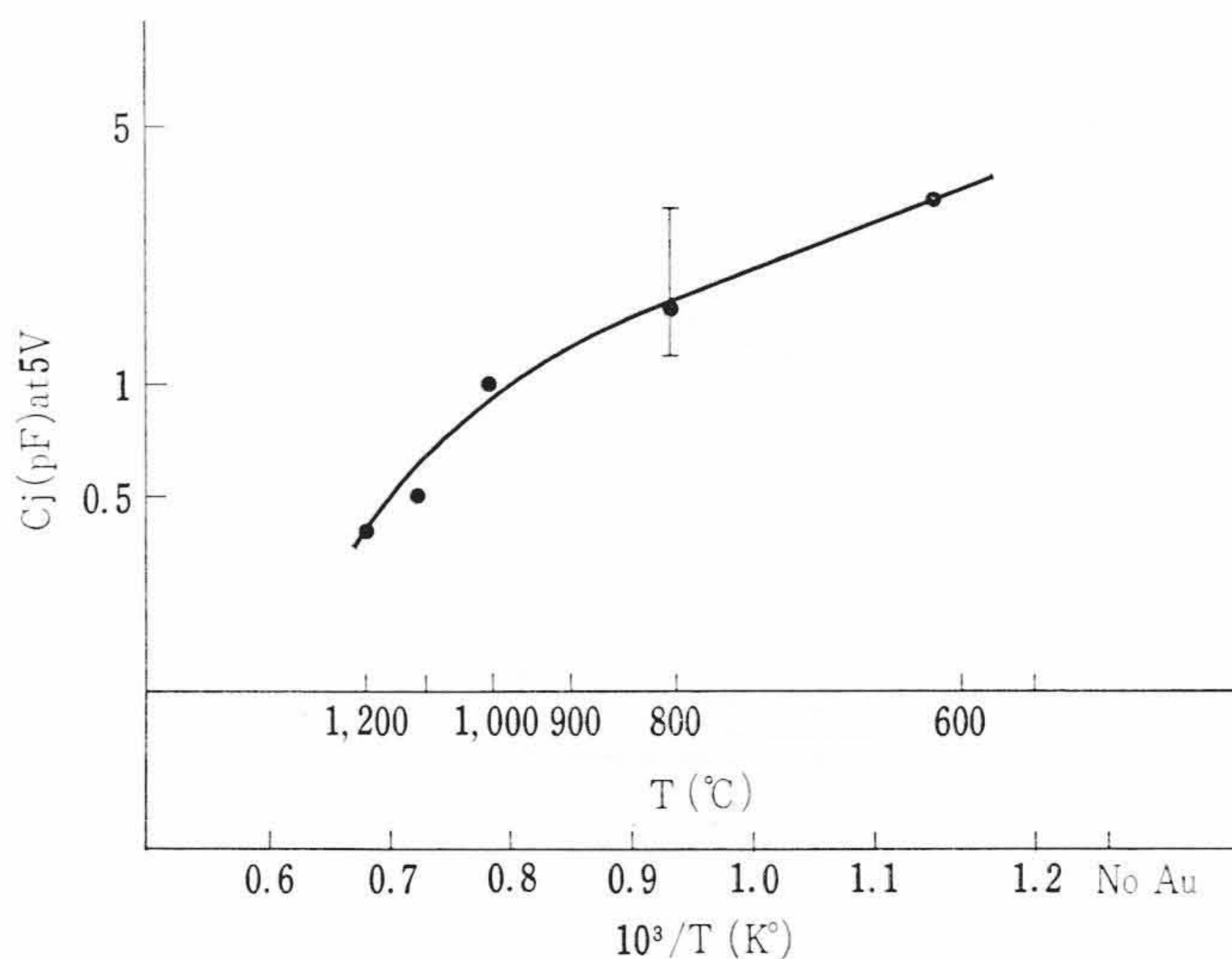
第9図に C_j の電圧依存性を示す。金拡散なしの試料では, ほぼ $-1/2$ のこう配にのり, step junction であることを示している。また 0.5~5 Mc/s の範囲で周波数依存性も見られない。金拡散温度が高くなるに従いこう配もゆるくなり, C_j の絶対値も小



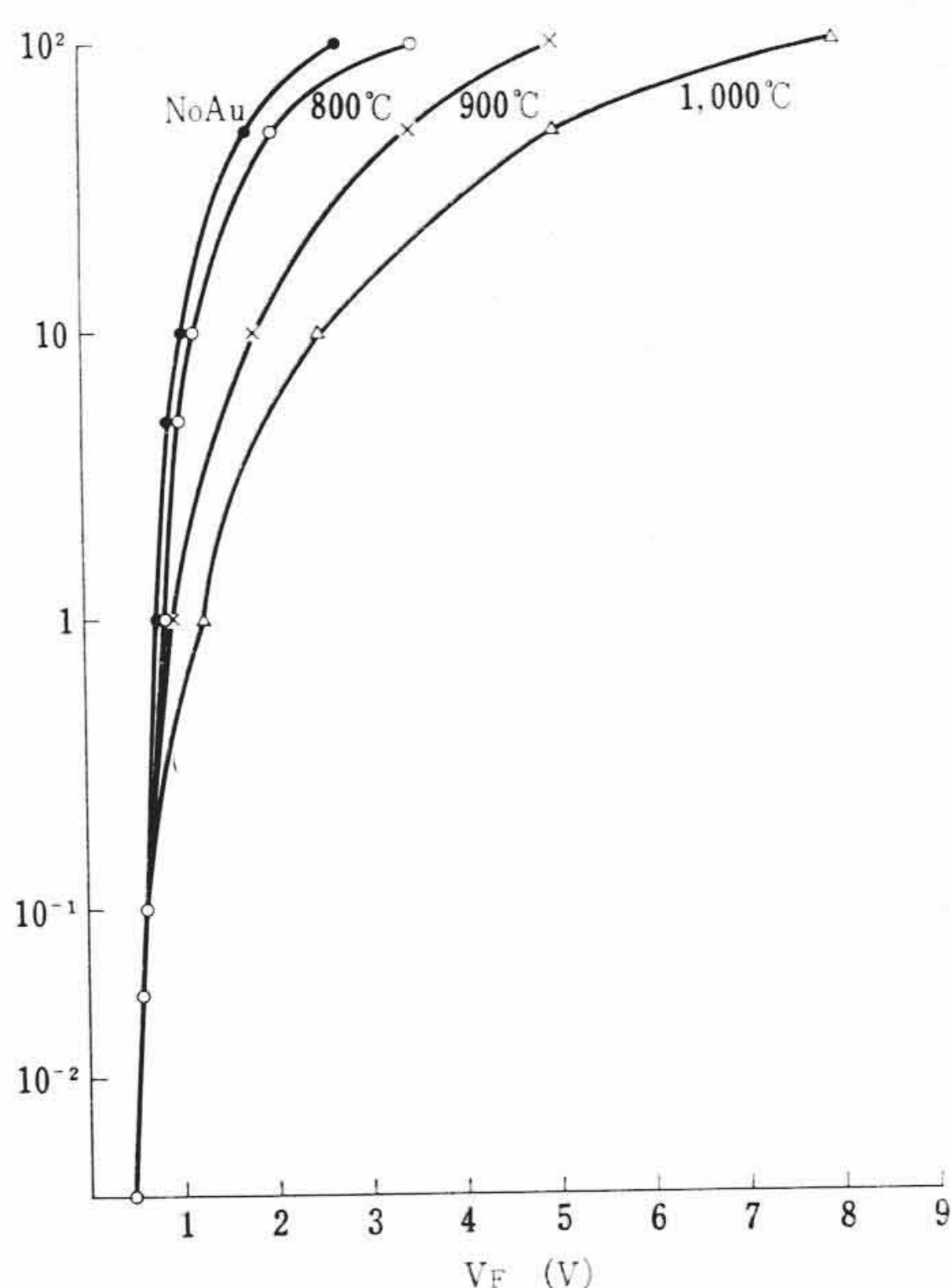
(試料は FZ, No Au は金拡散なしの試料)
第8図 Au 拡散温度と I_R との関係



(試料は FZ, No Au は金拡散なしの試料)
第9図 接合容量 C_j の電圧依存性



(試料は FZ, No Au は金拡散なしの試料)
第10図 Au 拡散温度と C_j との関係



(No Au は金拡散なしの試料)
第11図 I_F と V_F との関係

さくなる。1,000°C 以上では周波数依存性がみられ、高温の試料になるに従い著しくなる。

Sah 氏によれば⁽⁶⁾

$$C_j = \sqrt{\frac{q\epsilon}{2}} \left(\sqrt{\frac{\phi_i}{C_D - C_{Au}}} + \sqrt{\frac{V - C_{Au}/C_D \times \phi_i}{C_D}} \right)^{-1}$$

q : 電気素量, C_D : ドナ濃度, ϵ : 誘電率

C_{Au} : 金濃度, $\phi_i = E_{FN} - E_{Au} - q$, V : 障壁電圧

$V \gg \frac{C_{Au}}{C_D} \times \phi_i$, $C_D > C_{Au}$ の場合

$$C_j \approx \sqrt{\frac{q\epsilon}{2}} \times \frac{\sqrt{C_D - C_{Au}}}{\sqrt{\phi_i} + \sqrt{V}} \quad (6)$$

(6) 式より、逆方向バイアス電圧が大きい場合の接合容量は $\sqrt{C_D - C_{Au}}$ に比例すると考えられる。すなわち金拡散により、固有の不純物濃度が補償されて、なお残っている不純物濃度で接合容量が決定される。金拡散温度と接合容量との関係は第10図に示すとおりである。

(5) C_{Au} と V_F との関係

金拡散温度をパラメータにした、 I_F と V_F との関係図を第11図に示す。

$$V_F = V_j + I_F \gamma_s$$

$$I_F = I_s \left(e^{\frac{qV_j}{kT}} - 1 \right)$$

$$V_F = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_F}{I_s} + I_F \gamma_s \quad (7)$$

γ_s : ダイオードの拡がり抵抗

I_s : 飽和電流

(7) 式より、 γ_s がなければ V_F と $\ln I_F/I_s$ とは正比例関係にある。

第11図で、 $V_F - I_F$ 曲線で直線よりずれている部分が γ_s の寄与と考えられ、 $I_F \geq 1 \text{ mA}$ から γ_s が寄与して来るようである。金拡散温度が高くなるに従い γ_s の寄与が著しくなってくる。

2.2 ま と め

(1) 金拡散温度 (T) と t_{rr} との関係

$\log t_{rr} = K_3 + K_4 / T$ の関係があり、900~1,200°C の範囲での実測値は理論値と概略一致する。

(2) T と I_R との関係

$\log I_R = K_5 - K_6 / T$ (K_5, K_6 は比例常数) の関係があり、900~1,200°C の範囲での実測値は理論値と概略一致する。

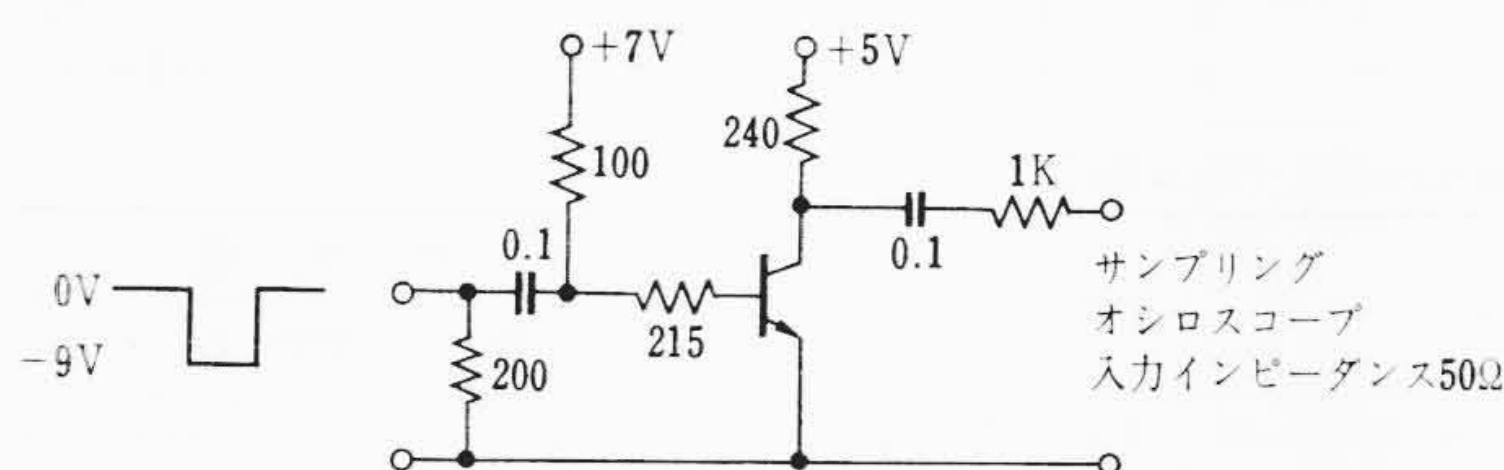
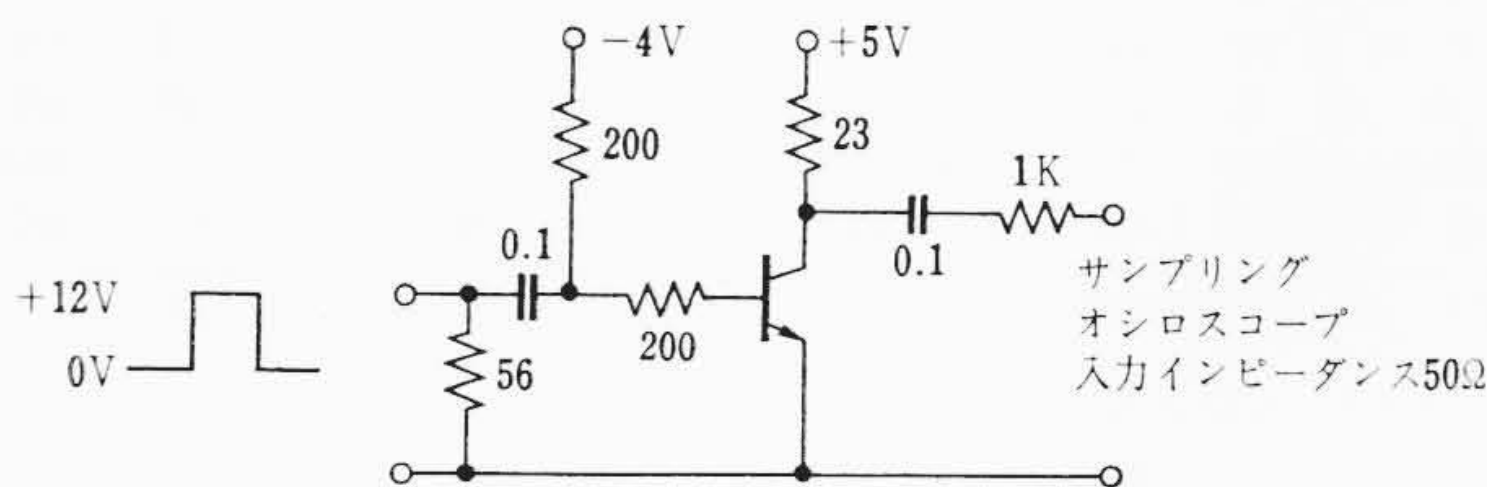
第2表 2S321⑩の最大定格と電気的特性
最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

項 目	記 号	単 位	定 格
コレクタ・ベース電圧	V_{CBO}	V	40
エミッタ・ベース電圧	V_{EBO}	V	5
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CER}	V	20
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CEO}	V	15
コレクタ損失 $T_a=25^\circ\text{C}$	P_c	mW	360
$T_c=100^\circ\text{C}$	P_c	mW	680
$T_c=25^\circ\text{C}$	P_c	mW	1,200
接合部温度	T_j	$^\circ\text{C}$	175
保存温度	T_{stg}	$^\circ\text{C}$	-65~200

電気的特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

項 目	記 号	測 定 条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
コレクタ・ベース電圧	BV_{CBO}	$I_C=1\mu\text{A}, I_E=0$	40	—	—	V
エミッタ・ベース電圧	BV_{EBO}	$I_E=10\mu\text{A}, I_C=0$	5	—	—	V
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CER}	$R_{BE}\leq 10\Omega, I_C=30\text{mA}$	20	—	—	V
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CEO}	$I_C=30\text{mA}, I_B=0$ (注1)	15	—	—	V
コレクタ遮断電流	I_{CBO}	$V_{CB}=20\text{V}, I_E=0$	—	—	0.25	μA
エミッタ遮断電流	I_{EBO}	$V_{EB}=4\text{V}, I_C=0$	—	—	1	μA
直流電流増幅率	h_{FE}	$V_{CE}=1\text{V}, I_C=10\text{mA}$	30	—	120	—
直流電流増幅率	h_{FE}	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=500\text{mA}$	—	15	—	—
コレクタ飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$I_C=200\text{mA}, I_B=20\text{mA}$	—	0.4	0.7	V
コレクタ飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$I_C=20\text{mA}, I_B=2\text{mA}$	—	—	0.25	V
ベース電圧	$V_{BE(sat)}$	$I_C=10\text{mA}, I_B=1\text{mA}$	—	—	0.8	V
高周波電流増幅率	h_{fe}	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=20\text{mA}, f=100\text{Mc}$	3	—	—	—
コレクタ容量	C_{ob}	$V_{CB}=10\text{V}, I_B=0$	—	—	6	pF
蓄積時間	t_{stg}	$I_C=I_{B1}=I_{B2}=20\text{mA}$ (注3)	—	—	30	ns
オン時間	t_{on}	$I_C=200\text{mA}, I_{B1}=2I_{B2}=40\text{mA}$ (注4)	—	20	—	ns
オフ時間	t_{off}	$I_C=200\text{mA}, I_{B1}=2I_{B2}=40\text{mA}$ (注4)	—	25	—	ns

注: (1) パルス測定
(2) パルス測定
(3) パルス幅 $\geq 200\text{ns}$ 測定回路下記

(3) パルス幅 $\geq 200\text{ns}$ 測定回路(4) パルス幅 $\geq 200\text{ns}$ 測定回路(3) C_{Au} と C_j との関係

$C_j \propto \sqrt{C_D - C_{Au}}$ の関係があり (ただし, 逆方向バイアス電圧が大きい場合) $1,000^\circ\text{C}$ 以上では周波数依存性が出て来る。

(4) C_{Au} と V_F との関係

$I_F \geq 1\text{mA}$ では γ_s が寄与する。金拡散温度が高いほど γ_s の寄与は著しい。

(5) 以上の実験データをもとにし, 要求される電気的特性を満足するように各品種の金拡散条件が決定された。life time killer としては金以外に, 銅なども有効であり, それについての検討も進められている。

3. 高速スイッチング用トランジスタ
ダイオードの電気的特性

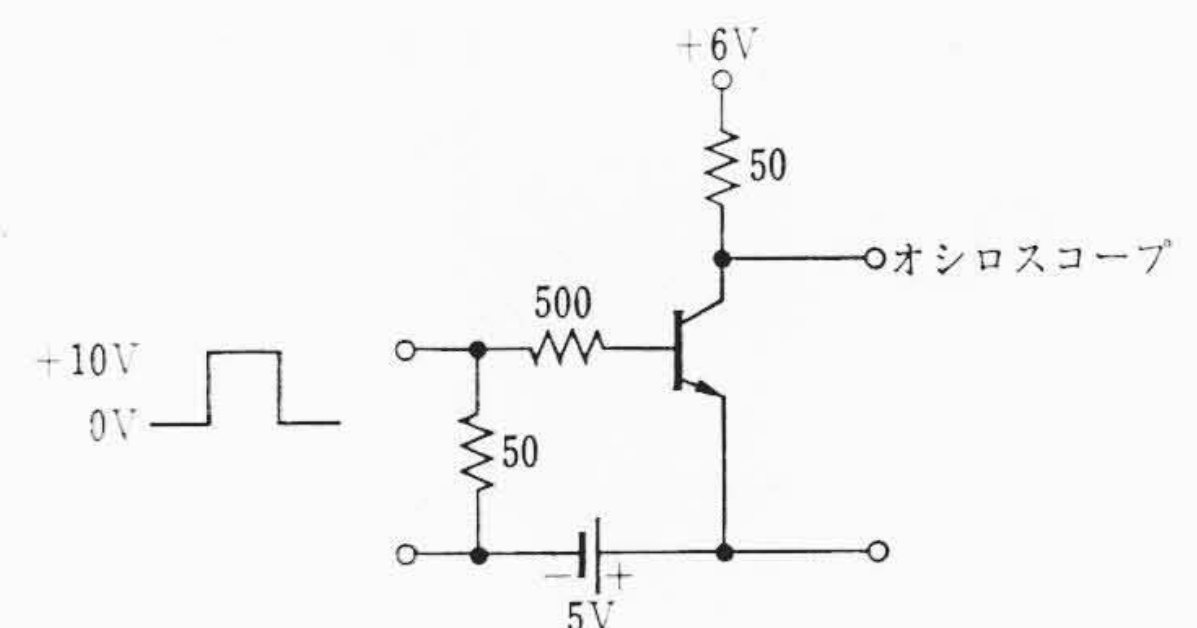
金拡散の施されたシリコン高速スイッチング素子の電気的特性について述べる。

第3表 2SC479⑩の最大定格と電気的特性
最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

項 目	記 号	単 位	定 格
コレクタ・ベース電圧	V_{CBO}	V	60
エミッタ・ベース電圧	V_{EBO}	V	5
コレクタ・エミッタ電圧	V_{CEO}	V	40
コレクタ電流	I_C	mA	700
コレクタ損失 $T_a=25^\circ\text{C}$	P_c	mW	650
接合部温度	T_j	$^\circ\text{C}$	175
保存温度	T_{stg}	$^\circ\text{C}$	-65~200

電気的特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

項 目	記 号	測 定 条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
コレクタ・ベース電圧	BV_{CBO}	$I_C=10\mu\text{A}, I_E=0$	60	—	—	V
エミッタ・ベース電圧	BV_{EBO}	$I_E=10\mu\text{A}, I_C=0$	5	—	—	V
コレクタ・エミッタ電圧	BV_{CEO}	$I_C=10\text{mA}, I_B=0$	40	—	—	V
コレクタ遮断電流	I_{CBO}	$V_{CB}=40\text{V}, I_E=0$	—	—	1	μA
エミッタ遮断電流	I_{EBO}	$V_{EB}=3\text{V}, I_C=0$	—	—	1	μA
直流電流増幅率	h_{FE}	$V_{CE}=1\text{V}, I_C=100\text{mA}$	30	—	—	—
コレクタ飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$I_C=150\text{mA}, I_B=15\text{mA}$	—	—	0.4	V
ベース電圧	$V_{BE(sat)}$	$I_C=150\text{mA}, I_B=15\text{mA}$	—	—	1.2	V
高周波電流増幅率	h_{fe}	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=20\text{mA}, f=100\text{Mc}$	—	3.0	—	—
コレクタ容量	C_{ob}	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{Mc}$	—	—	20	pF
オン時間	t_{on}	注1参照	—	—	80	ns
オフ時間	t_{off}	注1参照	—	—	100	ns

注1 t_{on}, t_{off} 測定回路

3.1 2SC321⑩

シリコンエピタキシャルプレーナ形トランジスタである。

第2表はその規格表である。10 Mc/s 程度までの飽和スイッチ用として最適である。もちろん電流スイッチ回路でさらに高速スイッチングを行なわせることもできる。この場合も許容コレクタ損失が G_c トランジスタの2倍以上あるので, 余裕をもった回路設計が可能である。温度特性などの詳細はすでに本誌に発表されている⁽⁷⁾ので参照されたい。

3.2 2SC479⑩

シリコンエピタキシャルプレーナ形トランジスタである。

第3表はその規格表である。特長は, 中電流高速スイッチング素子として耐圧が高いことで, インダクティブ負荷のドライブ, たとえばケーブルなどのドライブ, およびコアドライブに最適である。

3.3 2SC315⑩

シリコン3重拡散形トランジスタで, 大電流高速スイッチングトランジスタとして使用される。第4表はその規格表である。アンペアオーダーのスイッチ素子としてすぐれた特性を持っている。

3.4 1S1219⑩

シリコンエピタキシャルプレーナ形ダイオードである。第5表はその規格表である。論理用, クランプ用, コンバータ用として十分な特性を持っている。許容損失は 250 mW と大きいので余裕のある使い方ができる。特性の詳細は 2SC321⑩ とともに本誌に発表されている⁽⁷⁾ので参照されたい。

3.5 1S1220⑩

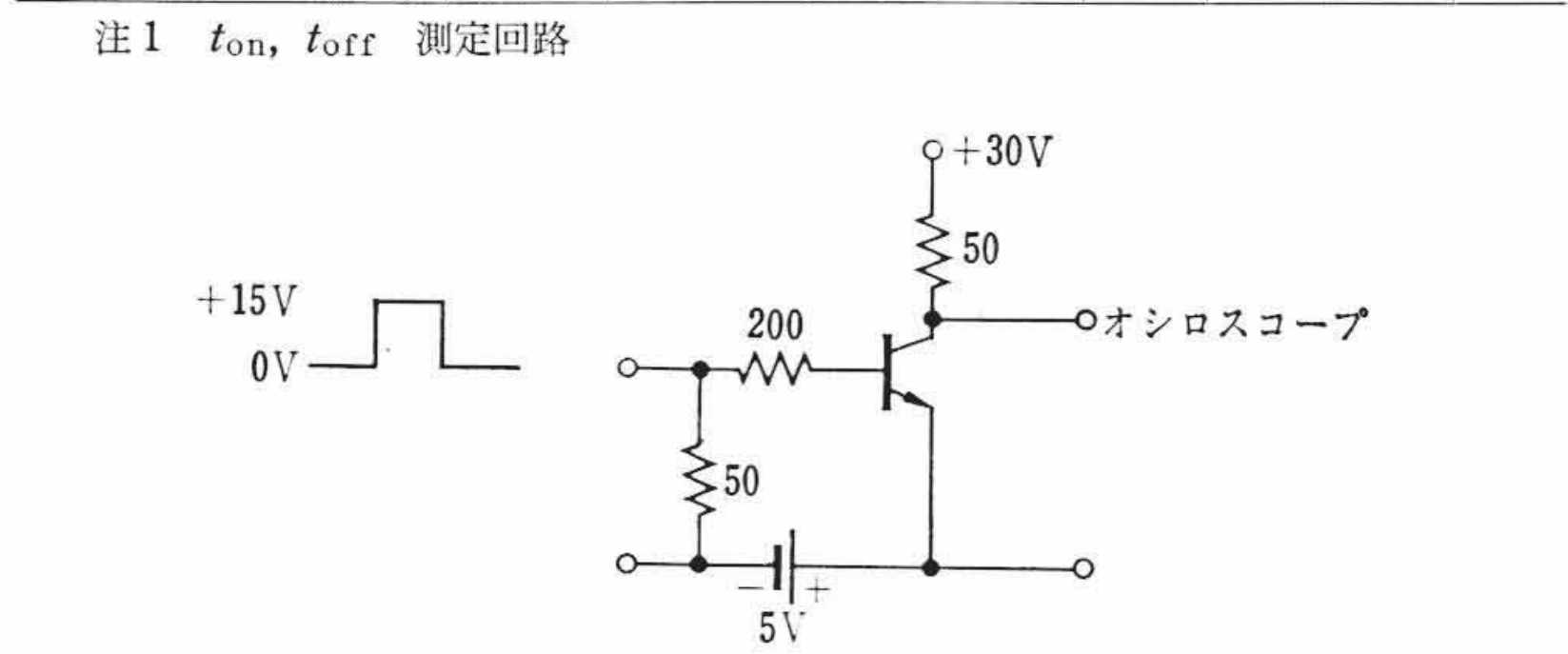
1S1220⑩は 500 mW の大きな許容損失を持つエピタキシャルプレーナ形ダイオードで, メモリコアのステアリング用として, 中電流スイッチングに最適である。第6表はその規格表である。

第4表 2SC315Ⓜの最大定格と電気的特性
最大定格 (T_a=25℃)

項 目	記 号	単 位	定 格
コレクタ・ベース電圧	V _{CBO}	V	75
エミッタ・ベース電圧	V _{EBO}	V	4
コレクタ・エミッタ電圧	V _{CEO}	V	60
コレクタ電流	I _C	A	1.2
コレクタ損失 T _a =25℃	P _c	W	2.0
コレクタ損失 T _c =25℃	P _c	W	20
接合部温度	T _j	℃	175
保存温度	T _{stg}	℃	-65~175

電気的特性 (T_a=25℃)

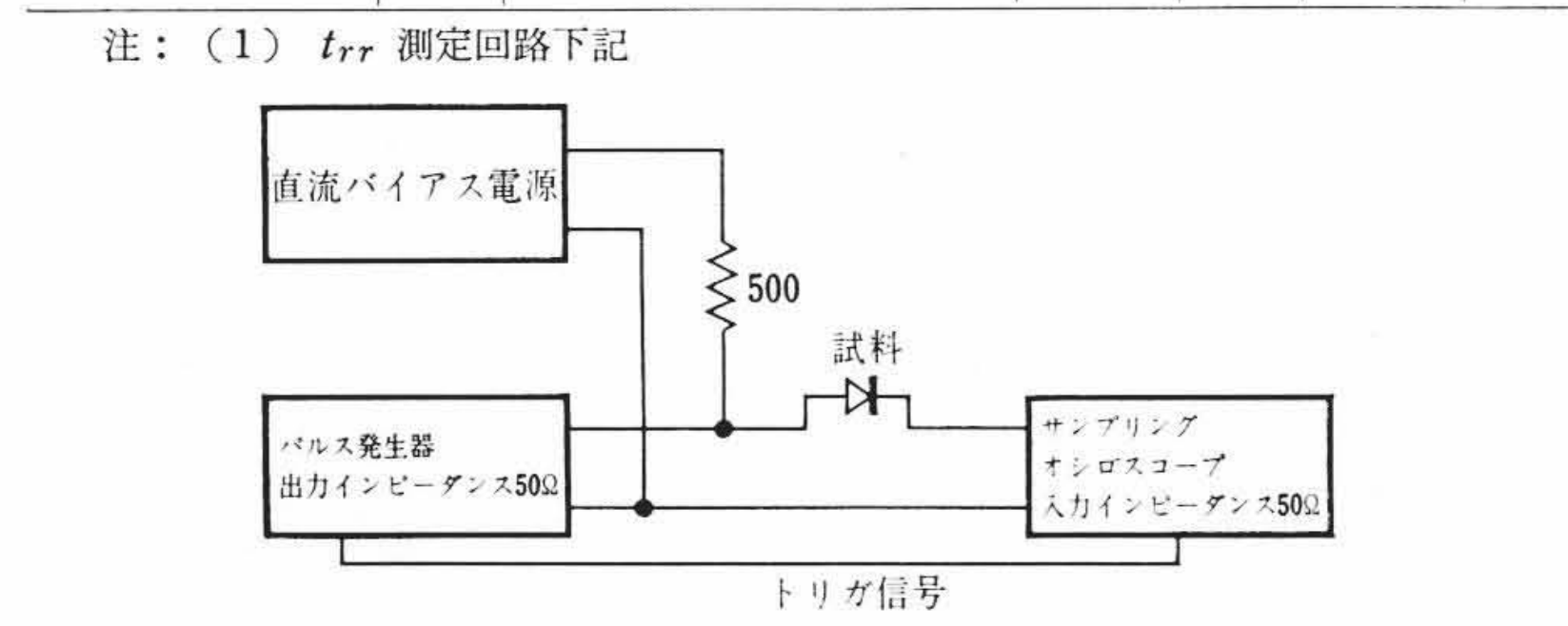
項 目	記 号	測 定 条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
コレクタ・ベース電圧	BV _{CBO}	I _C =1 mA	75	—	—	V
エミッタ・ベース電圧	BV _{EBO}	I _E =1 mA	4	—	—	V
コレクタ・エミッタ電圧	BV _{CEO}	I _C =10 mA	60	—	—	V
コレクタ遮断電流	I _{CBO}	V _{CB} =40 V	—	—	10	μA
直流電流増幅率	h _{FE}	V _{CE} =4 V, I _C =100 mA	5	30	—	—
コレクタ飽和電圧	V _{CE(sat)}	I _C =600 mA, I _B =200 mA	—	—	1.0	V
ベース電圧	V _{BE}	I _C =600 mA, I _B =200 mA	—	—	2.0	V
高周波電流増幅率	h _{fe}	V _{CE} =15 V, I _C =100 mA f=20 Mc	2.5	—	—	—
コレクタ容量	C _{ob}	V _{CB} =15 V, I _E =0, f=1 Mc	—	—	40	pF
オン時間	t _{on}	注1参照	—	60	—	ns
オフ時間	t _{off}	注1参照	—	200	—	ns



第5表 1S1219Ⓜの最大定格と電気的特性
最大定格 (T_a=25℃)

項 目	記 号	単 位	定 格
平均整流電流	I _O	mA	100
繰返しせん頭電流	i _f	mA	300
サージ電流 (1s)	i _f (サージ)	mA	500
接合部損失	P	mW	250
接合部温度	T _j	℃	175
保存温度	T _{stg}	℃	-65~200

項 目	記 号	測 定 条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
逆方向電圧	V _R	I _R =5 μA	30	—	—	V
順方向電圧	V _F	I _F =10 mA	0.64	—	0.8	V
逆方向電流	I _R	V _R =20 V	—	—	100	mμA
逆回復時間	t _{rr}	I _F =I _R =10 A (注) I _R =1 mAに回復する時間	—	—	4	ns
容 量	C	V _R =1 V, f=1 Mc	—	—	3.5	pF



3.6 1S1420Ⓜ

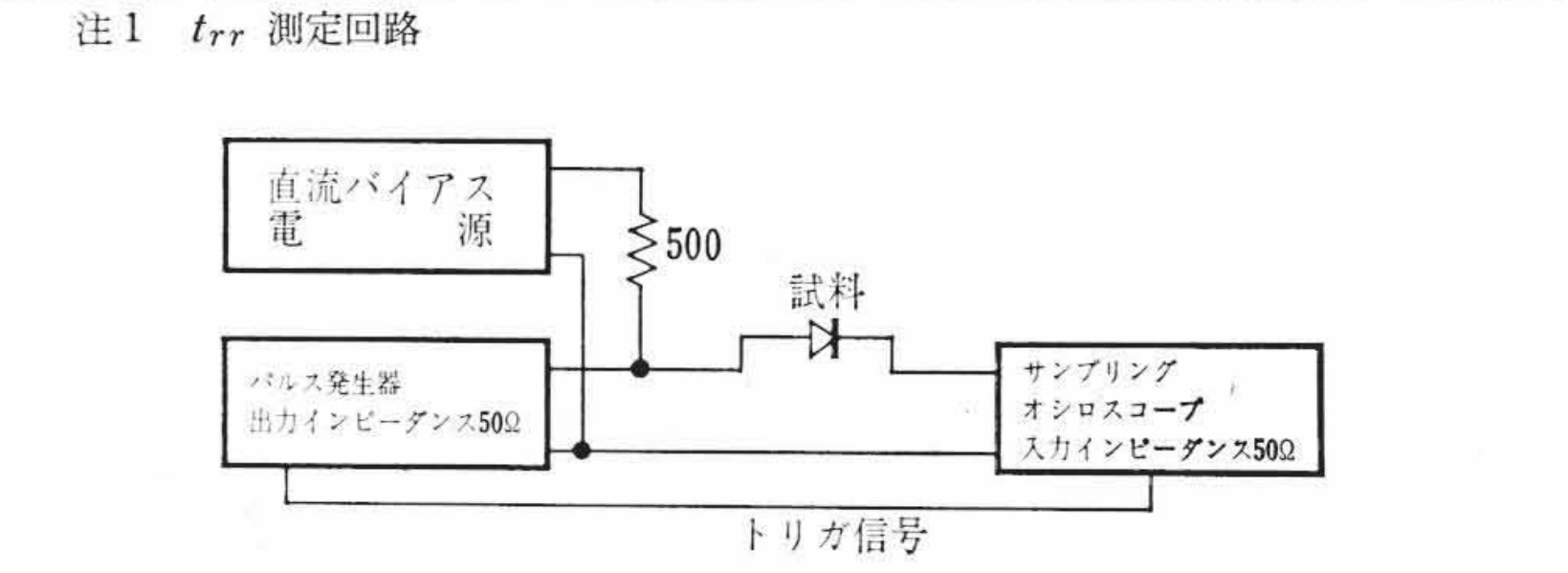
シリコンダイオード3個を1個のガラスケースに封じたレベルシフトダイオードである。RCTL回路のベース抵抗およびコンデンサの代わりにこのレベルシフトダイオードをそう入することによって、温度特性、雑音マージンのすぐれた基本回路を構成することが

第6表 1S1220Ⓜの最大定格と電気的特性
最大定格 (T_a=25℃)

項 目	記 号	単 位	定 格
平均整流電流	I _O	mA	300
繰返しせん頭電流	i _f	mA	900
サージ電流 (s)	i _f (サージ)	mA	1,000
接合部損失	P	mW	500
接合部温度	T _j	℃	175
保存温度	T _{stg}	℃	-65~200

電気的特性 (T_a=25℃)

項 目	記 号	測 定 条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
逆方向電圧	V _R	I _R =5 μA	30	—	—	V
順方向電圧	V _F	I _F =100 mA	—	—	1.0	V
順方向電圧	V _F	I _F =300 mA	—	—	1.3	V
逆方向電流	I _R	V _R =20 V	—	—	100	mμA
逆回復時間	t _{rr}	I _F =I _R =10 mA I _R =1 mAに回復する時間	—	—	4	ns
容 量	C	V _R =0, f=1 Mc	—	—	3.5	pF

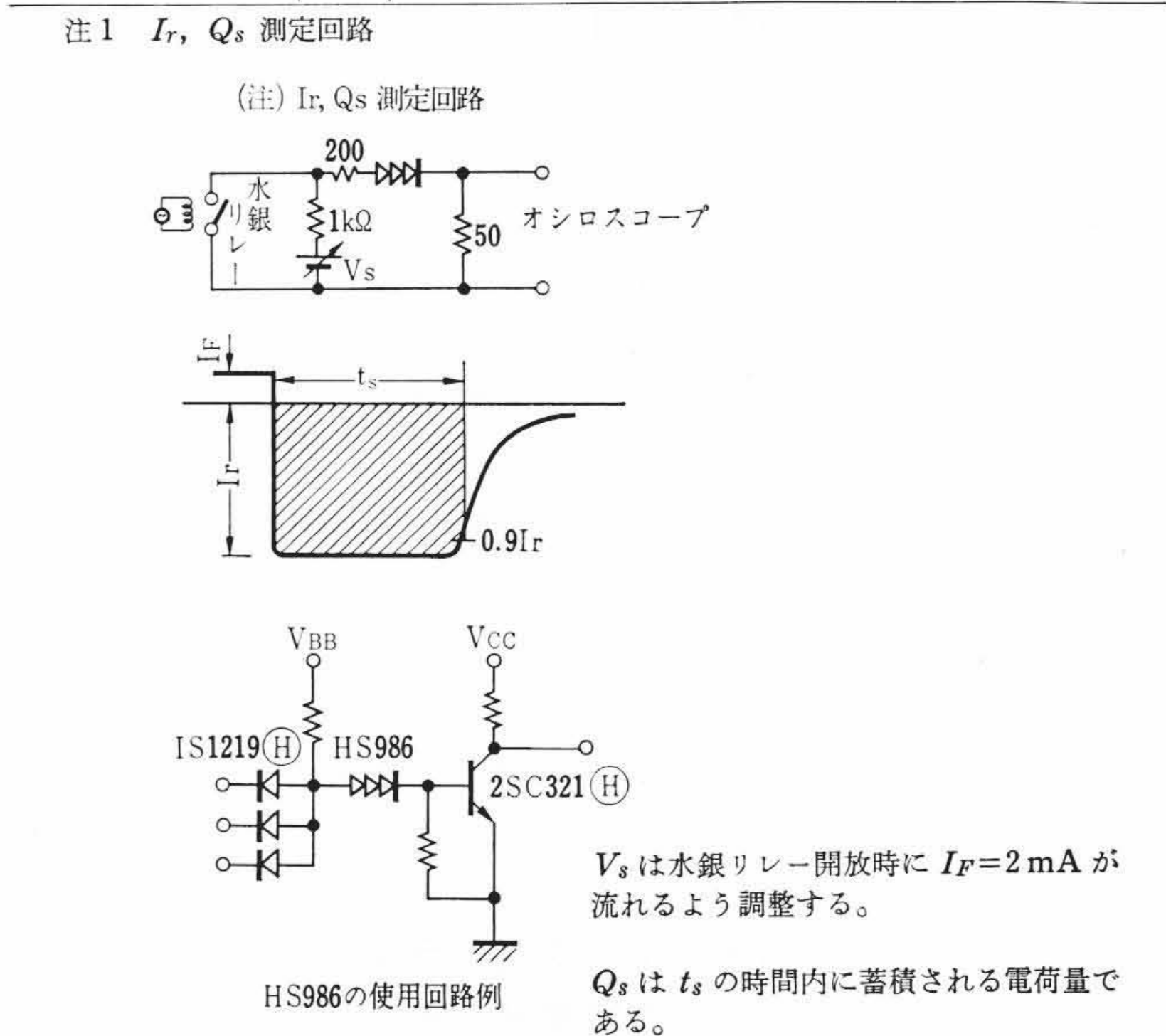


第7表 1S1420Ⓜの最大定格と電気的特性
最大定格 (T_a=25℃)

項 目	記 号	単 位	定 格
逆 方 向 電 圧	V _R	V	20
平 均 整 流 電 流	I _O	mA	30
接 合 部 温 度	T _j	℃	175
保 存 温 度	T _{stg}	℃	-65~200

電気的特性 (T_a=25℃)

項 目	記 号	測 定 条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
順 方 向 電 圧	V _F	I _F =70 μA	1.3	—	—	V
順 方 向 電 圧	V _F	I _F =2 mA	—	—	2.5	V
順 方 向 電 圧	V _F	I _F =20 mA	—	—	3.5	V
逆 方 向 電 流	I _R	V _R =20 V	—	—	1	μA
接 合 容 量	C	V _F =1 V	—	—	20	pF
接方向せん頭電流	I _r	I _F =2 mA 注1	5.0	—	—	mA
蓄 積 電 荷 量	Q _s	I _F =2 mA 注1	300	—	—	pC



できる。第7表は規格表および回路例を示したものである。

4. 信頼度向上対策

素子の信頼度を向上させる方法としては、製造工程を改良するとともに、でき上がった素子より不良要因を持った素子を選び出すスクリーニングを行なうことが効果的である。

4.1 製造工程の改良

酸化膜のピンホール密度を減小させること、各工程間の仕掛け時間を短縮するとともに、保存方法に注意すること、QC点を各所に設け工程管理を厳重にすることなどが実施されている。またウェハアベーク条件、封止ふん囲気なども信頼度に影響すること大である。総合的に工程管理を厳重にすることが必須条件である。

4.2 機械的強度試験および環境試験について

トランジスタのコネクタとしては、一般に金線が使用されているが、高温状態に長時間放置されると purple plague が発生し断線しやすくなる。この対策としてアルミニウム線をコネクタとして使用する方法が採用され、超音波組立機が使用されている。アルミニウム線素子の長所の一つとしては、スクリーニング時に高温処理が可能となることで、したがって信頼度向上に大きく寄与する。

1S1219⑩、1S1420⑩などのガラス封止ダイオードでは、ガラスとジュメット線との溶着の不完全さが環境試験などの寿命試験では問題となり、特に潜在するガラスひずみのためにガラスクラックが発生する場合がある。ガラスひずみに関しては封止時の熱履歴に注意する必要があり、400～500℃の温度範囲、つまり徐冷点近傍での温度こう配を制御することによりガラスひずみを最小の状態にすることが可能となった。

4.3 信頼度試験結果

信頼度試験条件および詳細な結果については日立評論 Vol. 47, No. 3, p.593(昭40年3月)にゆずるが、2SC321⑩および1S1219

⑩は200℃、1,000 hの高温放置および最大定格の動作試験および80℃、相対湿度95%、1,000 hの高温高湿試験で、failure rate $5 \times 10^{-6}/h$ 以下であることが実証されている。その他機械的強度試験、環境試験でも不良発生率は少なく、通信工業用品種として十分の品質を持っていることが確認されている。また強制試験の結果より、実用状態での failure rate は $10^{-8} \sim 10^{-9}/h$ が保証されている。

他の2SC479⑩、2SC315⑩、1S1220⑩、1S1420⑩についても、2SC321⑩、1S1219⑩に準ずる信頼度試験結果が得られている。

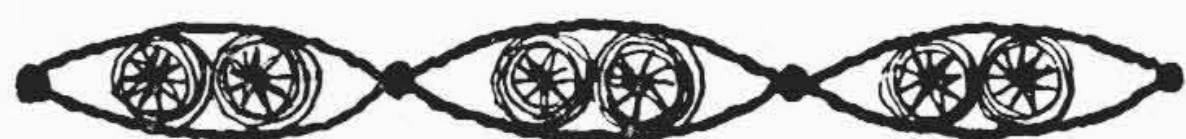
5. 結 言

デジタル技術の進歩普及に従い、スイッチング素子の用途が拡大されるとともに要求される特性、品質はますますきびしくなっている。最近の技術動向は、単体素子の小形化と超高信頼度化といった方向に急速な進歩をみせており、われわれの精進すべき途はきびしい。

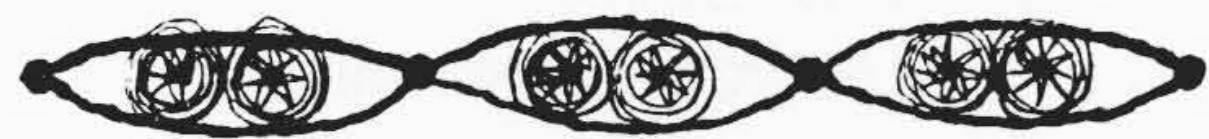
最後に、日本電信電話公社電気通信研究所の関係各位のご指導を深く感謝すると同時に中央研究所、日立研究所、神奈川工場および戸塚工場の社内関係各位のご協力に今後とも期待する次第である。

参 考 文 献

- (1) A. E. Bakanowski, J. H. Forster; Bell System Tech. J., 39, 87, 1960, p. 87
- (2) R. H. Kingstone; Proc. I. R. E., 42, 1954, p. 829
- (3) B. Lax, S. F. Neustadter; J. A. P. 25, 9, 1954, p. 1148
- (4) G. Bemsbi; Phys. Rev.; 111, 6, 1958, p. 1515
- (5) W. R. Wilcox, T. J. Lachapelle; J. A. P., 35, 1, 1964, p. 240
- (6) C. T. Sah, V. G. K. Reddi; IEEE Trans., ED-11, 7, 1964, p. 345
- (7) 阿部, 井出, 辻, 海保: 日立評論, 47, 593 (昭40-3)



特 許 の 紹 介



特許第426241号(特公昭38-25349号)

木 村 浩

荷 電 粒 子 線 照 射 装 置

従来、ポリエチレンなどの高分子物質に高エネルギーの電子線を照射し、その物質の物理的および化学的性質を改善しようとするなどの試みが広く行なわれている。このため、従来種々の加速器が開発されているが、たとえばコッククロフト形加速器やバンデグラフ形加速器などのように、所望とする加速エネルギーに見合う直流高電圧を発生し、これを加速管の両端間に直接印加するものにおいては、その設計、製作にあたって装置の大地電位に対する絶縁耐力が常に大きな問題となっている。

この発明は、この種の装置における加速用高電圧電源および加速管の中点を接地することにより、装置の大地電位に対する所要絶縁耐力を軽減しようとするものである。

図はその一実施例を示すもので、高電圧電源の発生電圧はVであるが、その中点を接地してあるので、加速管の上端および下端の対地電位はそれぞれ $-V/2$ 、 $+V/2$ となる。したがって、この装置の大地電位に対する所要絶縁耐力は $V/2$ となり、従来のように加速管の下端を接地し、上端に $-V$ なる高電圧を直接印加した場合の所要絶縁耐力Vの半分でよい。したがって、加速管や電源の耐压構造がきわめて簡略化され、小形化が期待できる。(松島)

