

電力用半導体整流におけるPN接合の問題点

Some Problems on P-N Junctions of High Power Semiconductor Rectifiers

中 戸 川 武* 小 川 卓 三**
Takeshi Nakatogawa Takuzo Ogawa

内 容 梗 概

電力用として使用される半導体整流器のPN接合の製法と微細構造、正方向特性、逆方向特性、耐電圧、表面特性との関係をゲルマニウムおよびシリコンについて理論と実際の面から論じた。

1. 緒 言

ゲルマニウム整流器、シリコン整流器で代表されるいわゆる半導体整流器が高効率、小形、長寿命、使用簡便の特長によって開発され、特に電力用として着々その実績をあげつつあることは周知のとおりである。このうちゲルマニウム整流器は比較的低電圧では現在の整流器中最も高効率であって内部損失は1~2%にすぎない。しかし耐熱性が比較的低く、実用上の温度制限が約65°Cという弱点がある。この点において耐熱性高くかつ耐電圧も高いシリコン整流器の完成が各方面から待望されていたにもかかわらず、高純度シリコンの入手難からその実用化が遅れていたが、最近金属シリコンの精製技術の急速な進歩に伴い、高純度シリコンの工業的生産も軌道に乗って、ようやく整流器も量産段階に立ち至った。しかしシリコン整流器の正方向電圧降下はゲルマニウム整流器の約2倍であるから、効率からみて今後は100Vの線で両者の使い分けが行われることになるであろう。

半導体整流器の整流作用をつかさどるPN接合について、電力用としてはできるだけ接合部の面積を大きくして1個の素子あたりの電流容量を増したいが、面積の増加は弱点の増加を伴って耐電圧の低下をきたすので実際上ある限度を生ずる。現在ゲルマニウム整流器の大きなものとしては7.7 cm², 500 Aがあり、シリコン整流器には2.2 cm², 240 Aがある。弱点の原因としては結晶中の欠陥もあるが、大部分はPN接合形成工程中に生ずる。PN接合製法としては種々の方法があるけれども、電力用素子には現在のところほとんど合金法が用いられている。しかし拡散法も最近大いに進歩をみせ一部の高耐電圧素子の製造に用いられており今後の発達が期待される。なお最近注目されている制御極付整流器は拡散法合金法の並用によって作ることができる。

以上のように現在における電力用整流器のPN接合製作の基礎技術は主として合金法と拡散法であるが、以下当研究室における試作研究結果を含めてこれらの方法に

よって製作されたPN接合の諸特性を検討してみることにする。

2. PN接合の製法について

PN接合部の微細組織はその製法によって変化しそれに応じてそれぞれの特性も異なってくる。次に代表的な製法を比較してみよう。

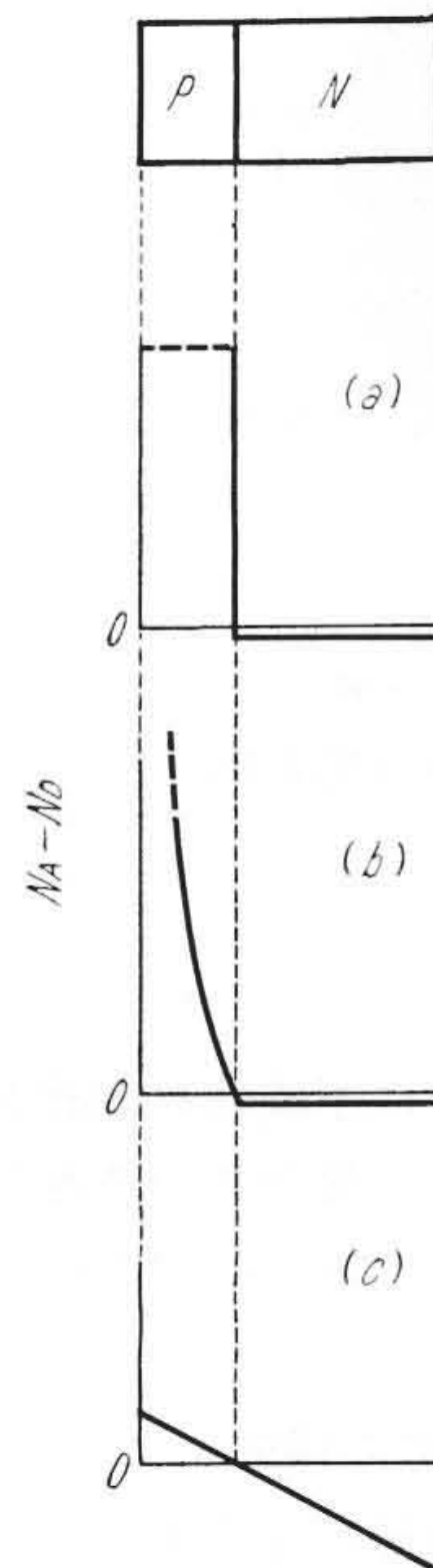
2.1 合金形接合

ゲルマニウムを例にとれば高純度のN形単結晶板の上にインジウムのようなアクセプタとなる不純物元素を合金する方法であって、一度インジウム中に溶解したゲルマニウムがN形単結晶の上にP形となって再析出するためにPN接合ができると考えられている。この場合、再析出したP形ゲルマニウムは多量の不純物(インジウム)を含んでいるので、接合部では第1図(a)のように不純物濃度が階段的に変っている(Abrupt transition)。

ここで N_A はアクセプタの濃度、 N_D はドナーの濃度である。同様にN形シリコンに対してはアクセプタとしてアルミニウムが用いられる。第2図(a)(b)はこれらの接合部の断面である。

2.2 拡散形接合

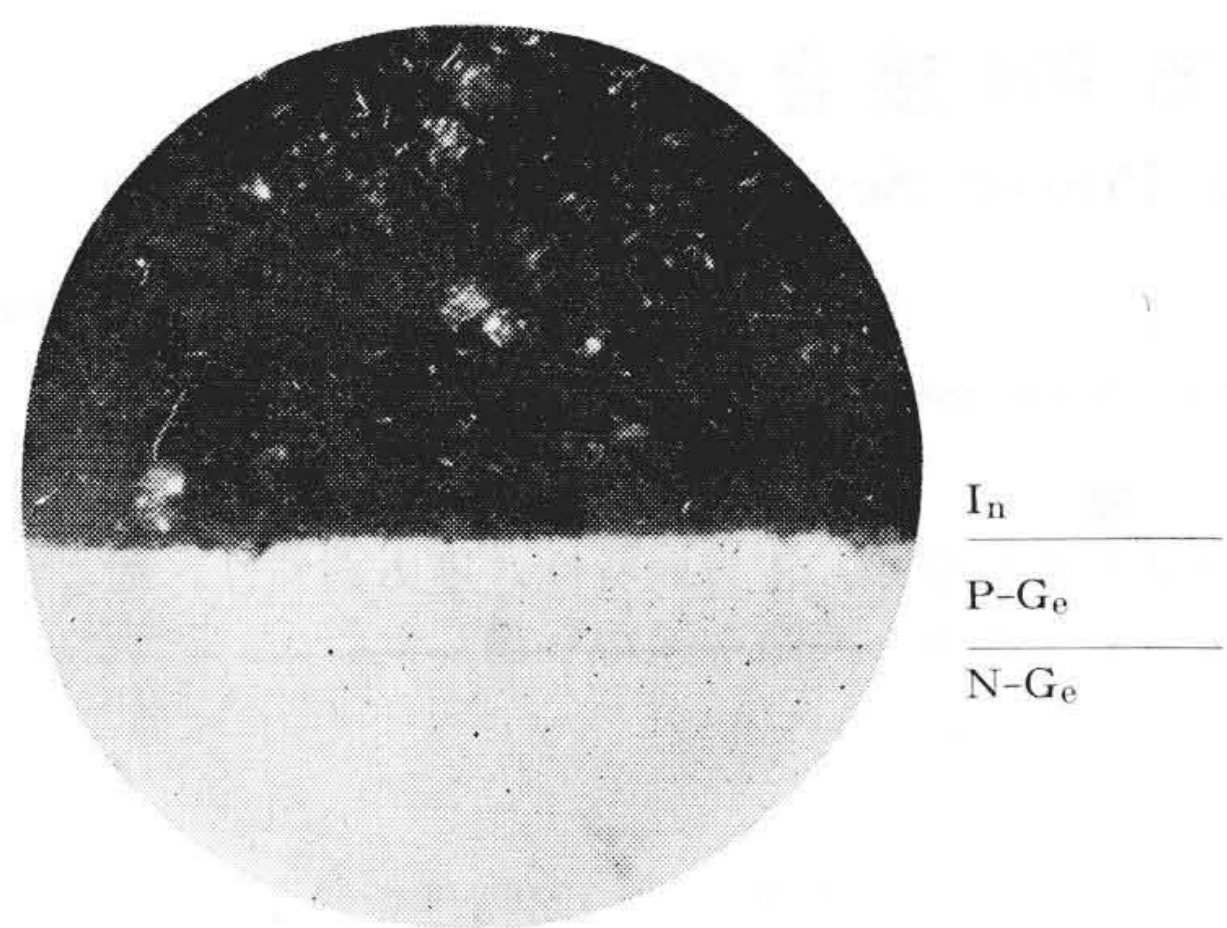
単結晶板の表面からドナーまたはアクセプタ不純物を拡散させ、単結晶の表面部を逆の導電形にすることによって作られる。たとえばN形シリコンを硼素の蒸気中で約1,300°Cに保ち表面層をP形にすることができる。不純物源としては普通不純物の酸化物が用いられている。このときの濃度分布は第1図(b)のように合金法に比し濃度勾配がややゆるやかになる。第2図(c)は拡散形接合部の断面



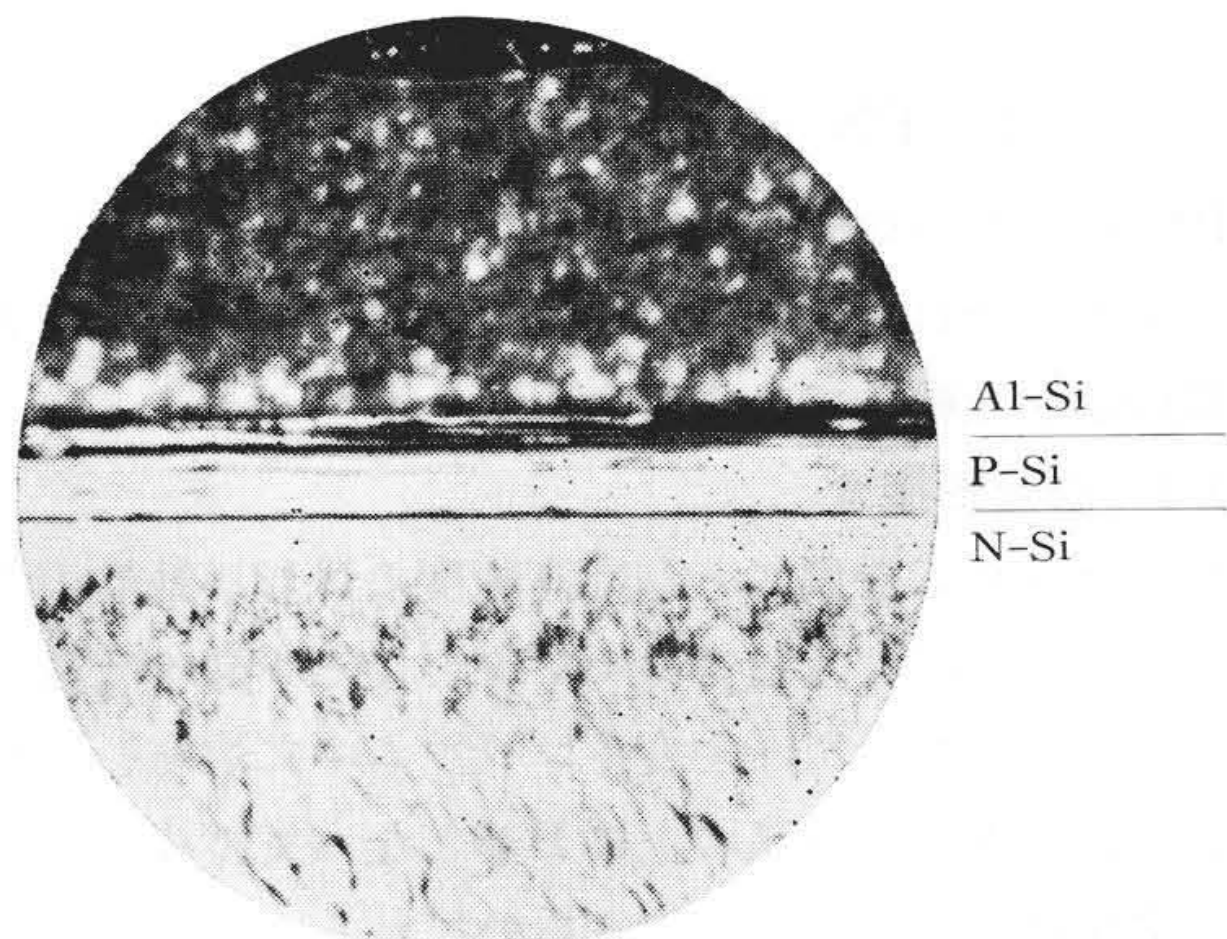
第1図 接合部の不純物の分布

* 日立製作所日立研究所 工博

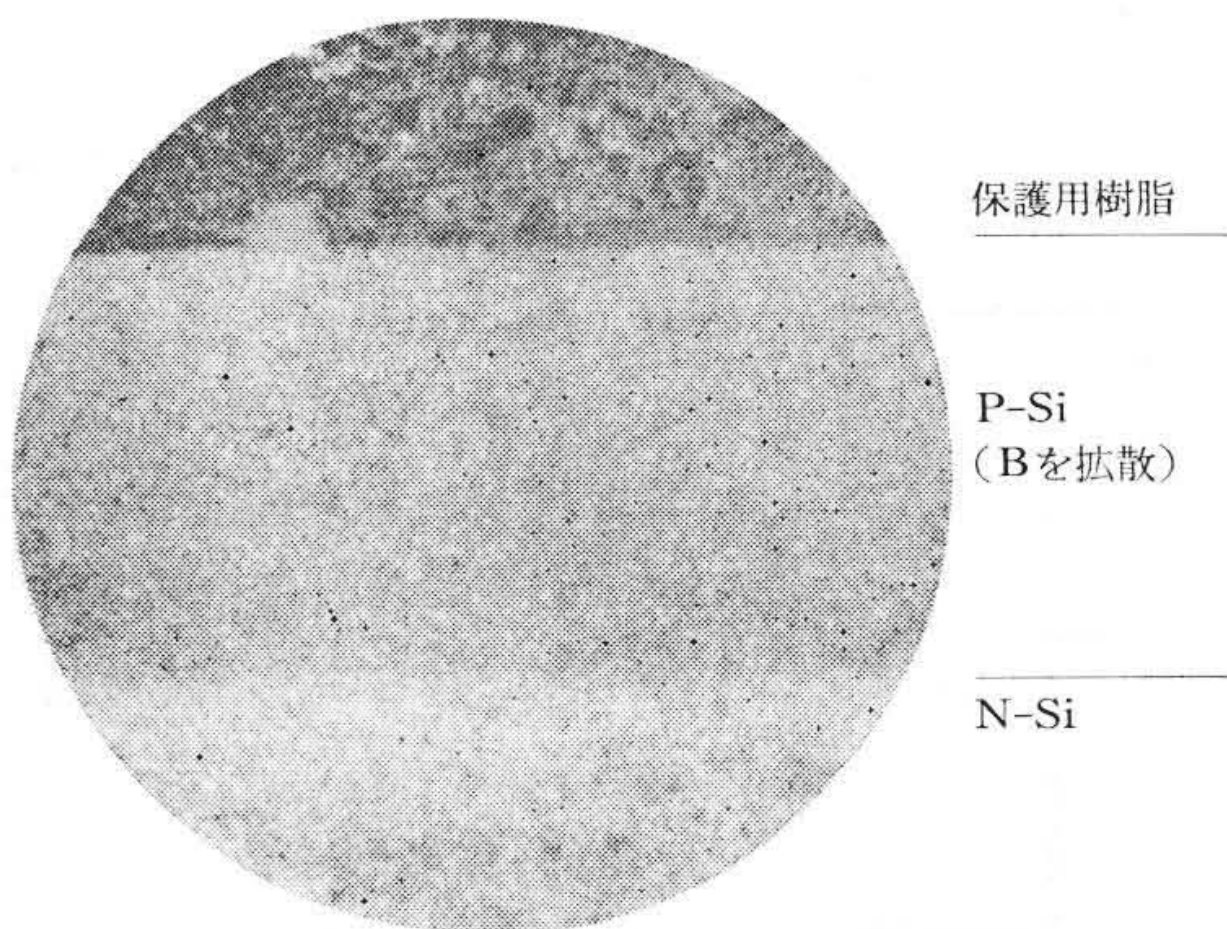
** 日立製作所日立研究所



(a) Ge 合金形 (×150)



(b) Si 合金形 (×250)



(c) Si 拡散形 (5度傾斜断面 ×40)

第2図 合金形および拡散形接合部の断面

である。

2.3 成長形接合

この方法では結晶を成長させるときに不純物を融液中に投入してPN接合をつくる。この場合接合部の濃度勾配はほぼ直線的となり、前二者に比してきわめてゆるやかにすることができる。

2.4 各種接合の電力用整流器としての得失

電力用整流器では熱損失は正方向電流によるものが大部分を占めるので正方向電圧降下の小さいことが大切である。そのためにはPN接合の少なくとも一方の側の領域

が低抵抗で多量のキャリアをもっている方がよい。したがってこの目的には合金形と拡散形が適当である。

次に耐電圧を高くするにはほかの一方の領域はできるだけ不純物の少ない高抵抗のものが要求され、また不純物濃度勾配がゆるい方がよい。この点からは成長形について拡散形、合金形の順となる。

実際にこれらの方法でPN接合を作ってみると拡散形や成長形の方は比較的完全なものが得やすいが、合金形では不均一な部分（たとえば不純物金属と半導体がよくぬれず、PN接合ができていない部分とか、不完全な凹凸の部分）を生じやすい。しかしながら合金形は製作条件が単純で量産向きであり、かつPN接合を形成するとき同時に電極も接着することができて確実な導線の接続が最も容易にできる。これは大電流用としてきわめてたいせつなことであって、現在合金法が主として採用されているゆえんである。しかし最近拡散形整流器も製作技術が向上し大電流に耐えられるようになってきており、すでに Bell 研究所で 100 A の拡散形素子が作られている。今後量産技術が確立すれば合金法に代りうる可能性もある。次に成長形接合は最も完全なPN接合を与え耐電圧数千ボルトの素子が作られた例があるが、大電流をとるには種々の困難があり実用化までにはなお多くの研究を必要とする。

3. 合金形および拡散形整流器の基本的特性

3.1 V-I 特性について

実際の整流器について完全なV-I特性を導くことはきわめて複雑となるので以下簡単なモデルについて原理的に述べることにする。第1図のような棒状半導体で接合部と両端子間の距離が電子あるいは正孔の拡散距離に比べて大きい場合の整流特性については次の Shockley の式がある。

$$I = I_s [\exp(qV_j/kT) - 1] \dots\dots\dots (3.1.1)$$

$$I_s = \frac{kT}{q} \frac{b}{(1+b)^2} \sigma_i^2 \left(\frac{\rho_n}{L_p} + \frac{\rho_p}{L_n} \right)$$

- ただし σ_i : 真性半導体の電導度
 $L_{p(n)}$: 正孔(電子)の拡散距離
 b : 正孔と電子の易動度の比
 $\rho_{p(n)}$: P(N)形領域の比抵抗
 T : 絶対温度
 k : Boltzmann 常数
 q : 電子の電荷
 V_j : 接合部に印加される電圧

しかし実際の整流器では半導体は $L_{p(n)}$ に比べて薄く、また測定される電圧 V は V_j と半導体内の RI 降下を含んだものであって (3.1.1) 式とは異なった結果⁽²⁾ になる。また半導体と導体の接続部の性質も問題であっ

第3図 PNN⁺ 接合および PNR 接合

て実際に近いモデルとしては第3図(a)および(b)のようなものが考えられている。これは低抵抗のP形領域とN⁺領域またはオーミック接続部Rの間に高抵抗のN領域がはいった構成である。理想的な場合には(a)のNN⁺界面の再結合速度は0, また(b)のNR界面では ∞ である。このような整流器に適した条件を考慮してSabyら^{(2)~(4)}はV-I特性式を導いた。整流器において実用上問題となるような高電流密度の場合正方向電流は次式で与えられる。

$$I = \frac{q}{2D_p/W + S} \left[\left(\frac{4D_p}{W} + S \right) \frac{W}{2\tau_p} + 2 \frac{D_p}{W} S \right] \times n_i \exp(qV/2kT) \quad (3.1.2)$$

ただし τ_p : 正孔の寿命

D_p : 正孔の拡散係数

S : NR または NN⁺ 界面の再結合速度

V : 整流器に印加される電圧

W : N領域の厚さ

n_i : 真性半導体中のキャリア密度

次に逆方向特性については飽和形になることは Shockley の式と同様であるが, I_s は次のようになる。

$$I_s = \frac{kT}{q} \frac{b}{(1+b)^2} \sigma_i^2 \frac{\rho_n}{D_p(D_p/W + S)} \times \left[\left(2 \frac{D_p}{W} + S \right) \frac{W}{2\tau_p} + \frac{D_p}{W} S \right] \quad (3.1.3)$$

しかしながらシリコン整流器や低温におけるゲルマニウム整流器の実測値は(3.1.3)式による計算値に比して著しく大きい。Pell⁽⁶⁾によればこれは trap を媒介として発生する正孔, 電子対が空間電荷層の電場で加速され, 増倍される結果によるもので, その電流 I_{sc} は次の式で表わされる。

$$I_{sc} = qW_sGM \quad (3.1.4)$$

ただし W_s : 空間電荷層の幅

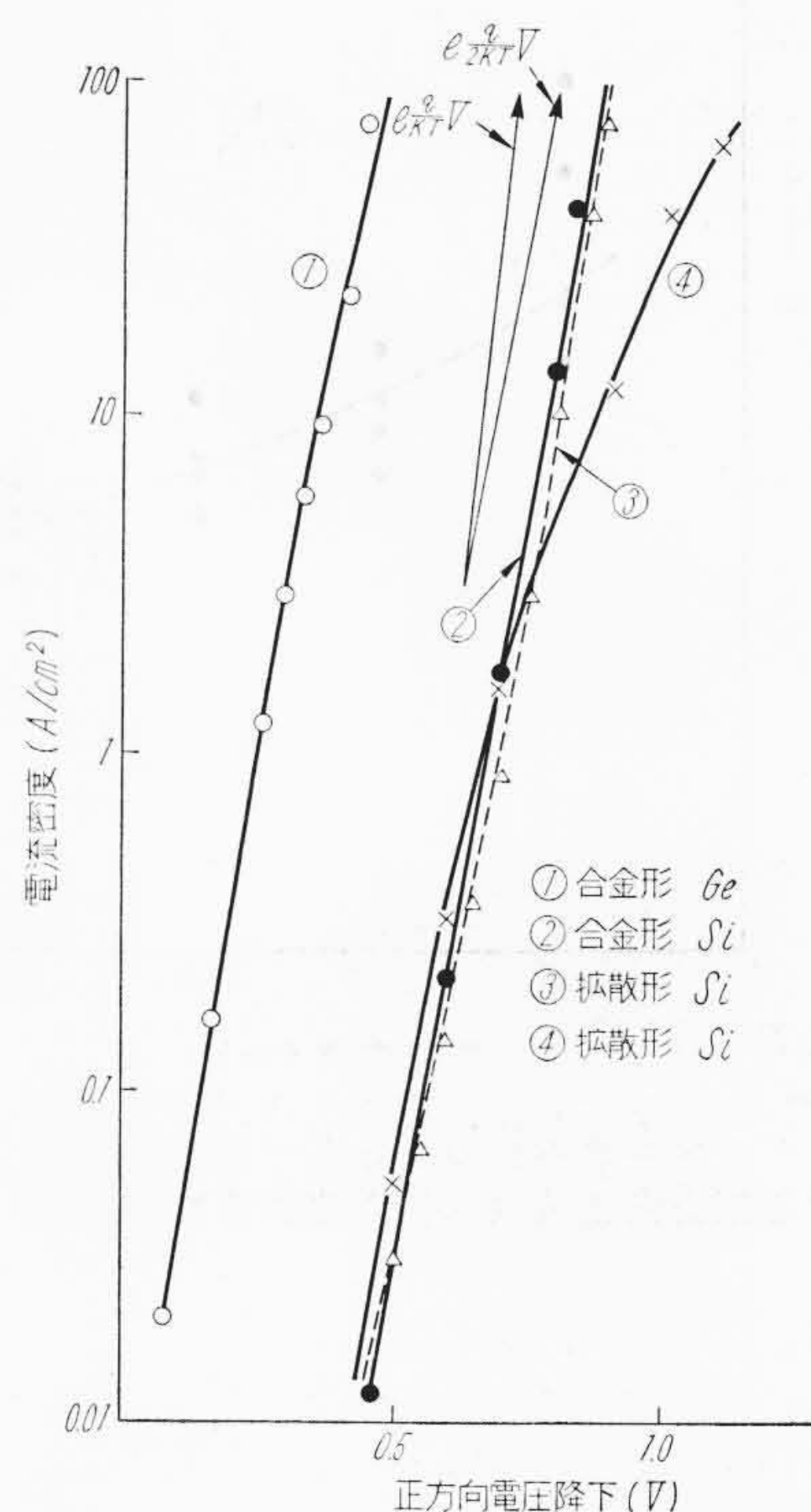
M : 増倍係数

G : 空間電荷層中の正孔, 電子対の生成率

ここで W_s と M が電圧の影響を受け, G が温度に依存する⁽⁷⁾。 W_s に対しては abrupt transition の場合は

$$W_s = \left[\frac{\kappa V}{2q(N_D - N_A)} \right]^{1/2} \quad (3.1.5)$$

であって, κ は誘電率を示す。 M に対しては(3.1.6)式



第4図 合金形, 拡散形接合の正方向特性

が実験的に与えられている。

$$M = 1/[1 - (V/V_B)^n] \quad (3.1.6)$$

ただし V_B は破壊電圧, n は常数である。

以上により逆流 I_R は一般的には

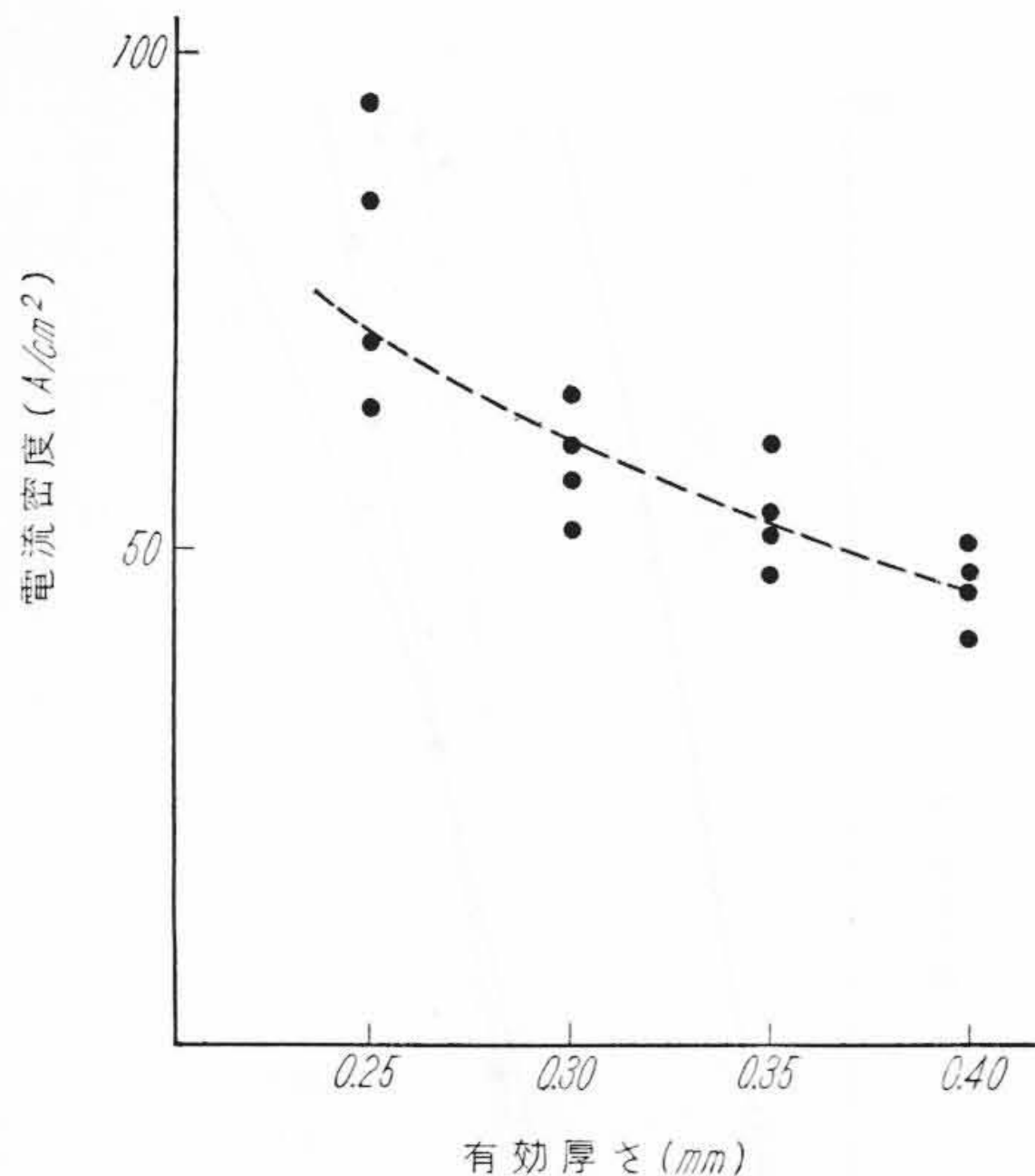
$$I_R = I_D + I_{sc} \quad (3.1.7)$$

で表わされる。ただし I_D は拡散電流である。

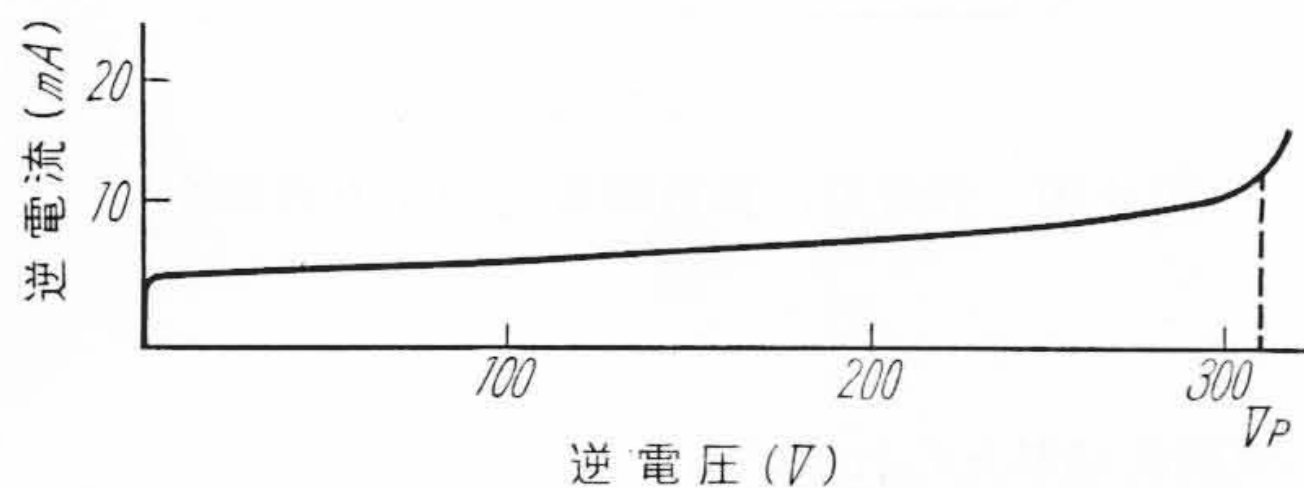
3.2 正方向特性

上述のV-I特性式に関し二, 三の実験的検討を加えてみることにする。測定試料には合金形と拡散形を用いたが合金形の方はゲルマニウムおよびシリコンのPNR形, 拡散形の方は高抵抗P形シリコンの両面に燐および硼素を拡散させてNPP⁺形としたものである。第4図は各試料の正方向特性であっていずれも $\exp(qV/2kT)$ に近い傾斜で(3.1.2)式の妥当性を示している。このうち④は比較的厚い半導体板を用いたもので大電流部で曲っている。同様の現象は100~300 A/cm²程度ですべてのものに現われる。このような現象は大電流部における注入効率の低下による電圧降下の増大と解され⁽⁵⁾, 電流密度の限界を示すものである。

次に種々の厚さのゲルマニウム板を用いて一定電圧降下に対する電流を比較すると第5図のようになる。これは合金形接合にベースソルダーとして錫を使用しPNR構成にしたもので, (3.1.2)式の $S \rightarrow \infty$ の場合で(3.2.1)



第5図 ゲルマニウム板の厚さと一定電圧降下 (0.45V) に対する正方向電流 (单相全波直流で測定)



第6図 大容量ゲルマニウム整流器の逆特性 (25°C)

式に相当する。

$$I = \frac{2qD_p}{W} n_i \exp(qV/2kT) \dots\dots\dots (3.2.1)$$

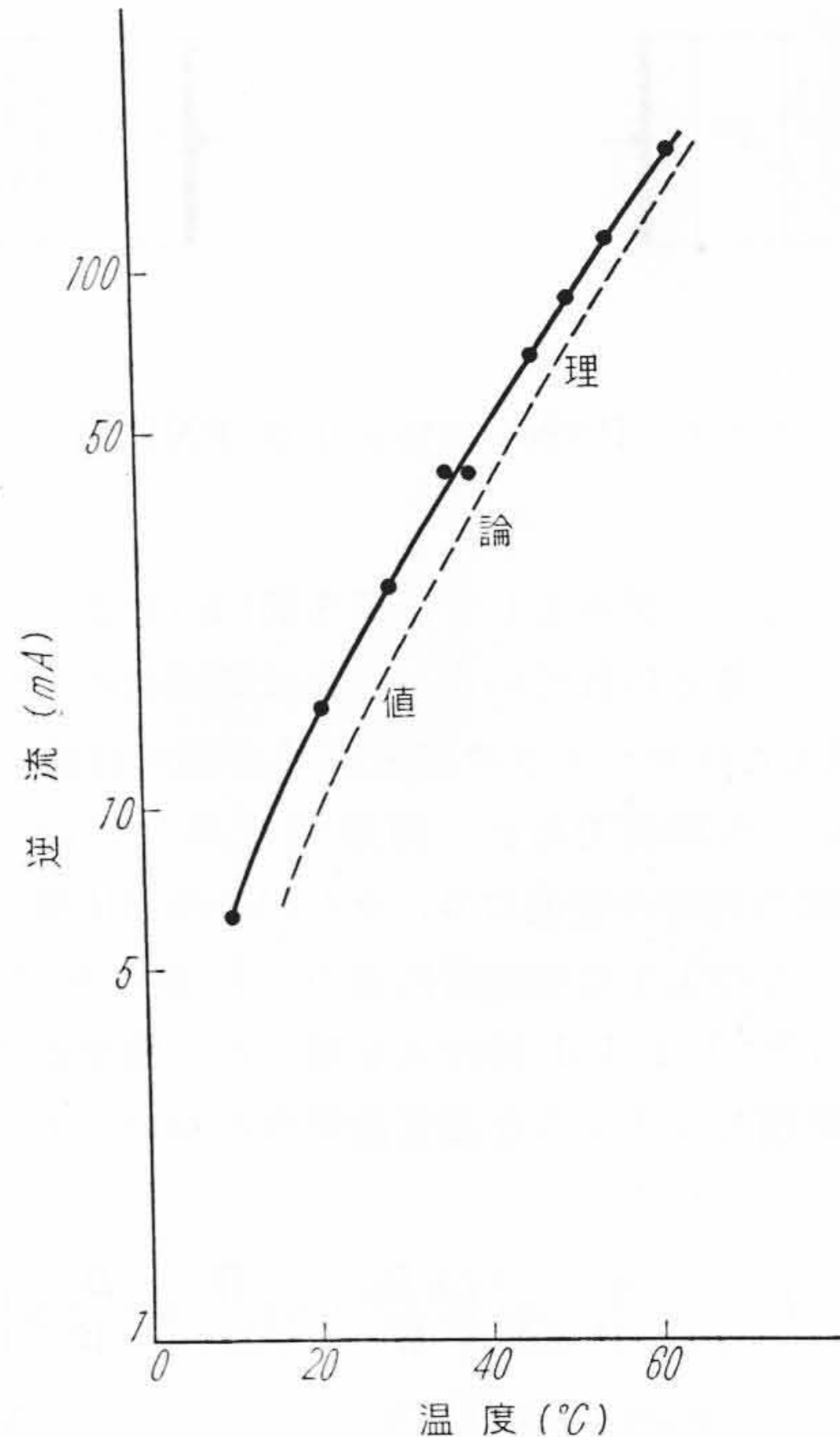
第5図の結果はほぼこれに近い傾向をもっていることがわかる。一方 NPP⁺ の場合は $S \rightarrow 0$ であるから $I \propto W$ の傾向をもつはずであるが第4図にみるようにこれは当らない。Fletcher⁽⁵⁾の計算によると電流密度が大きくなると指数項は $\exp(qV/\lambda kT)$ の形になり、 λ は2より小になると同時に W が小さいほど1に近くなる。結局 PNN⁺ あるいは NPP⁺ の場合も厚さが薄いほど大電流における正方向電圧降下は小さくなる。すなわち電力用整流器には逆特性を害さない限り半導体板は薄い方がよい。

3.3 逆方向特性

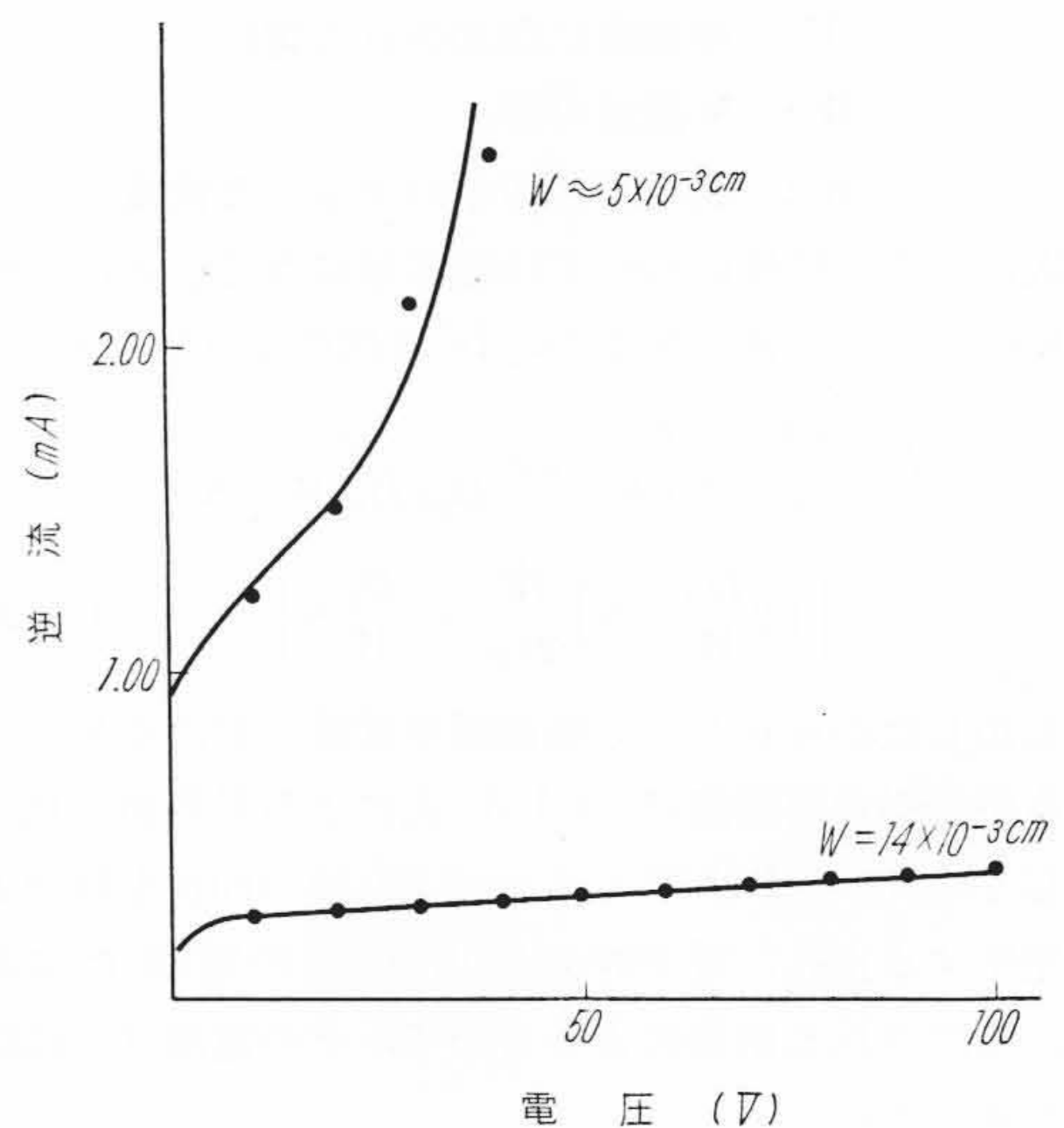
まず合金形ゲルマニウム整流器の逆特性を示すと第6図のとおりで (3.1.3) 式とよくオーダーも合う。一方温度特性は (3.1.3) 式では

$$I_p \propto T^{5/2} \exp(qV_G/kT) \dots\dots\dots (3.3.1)$$

となるが、第7図のように実測値はかなり大形のもので



第7図 ゲルマニウム整流器の逆電流 (12V) の温度特性

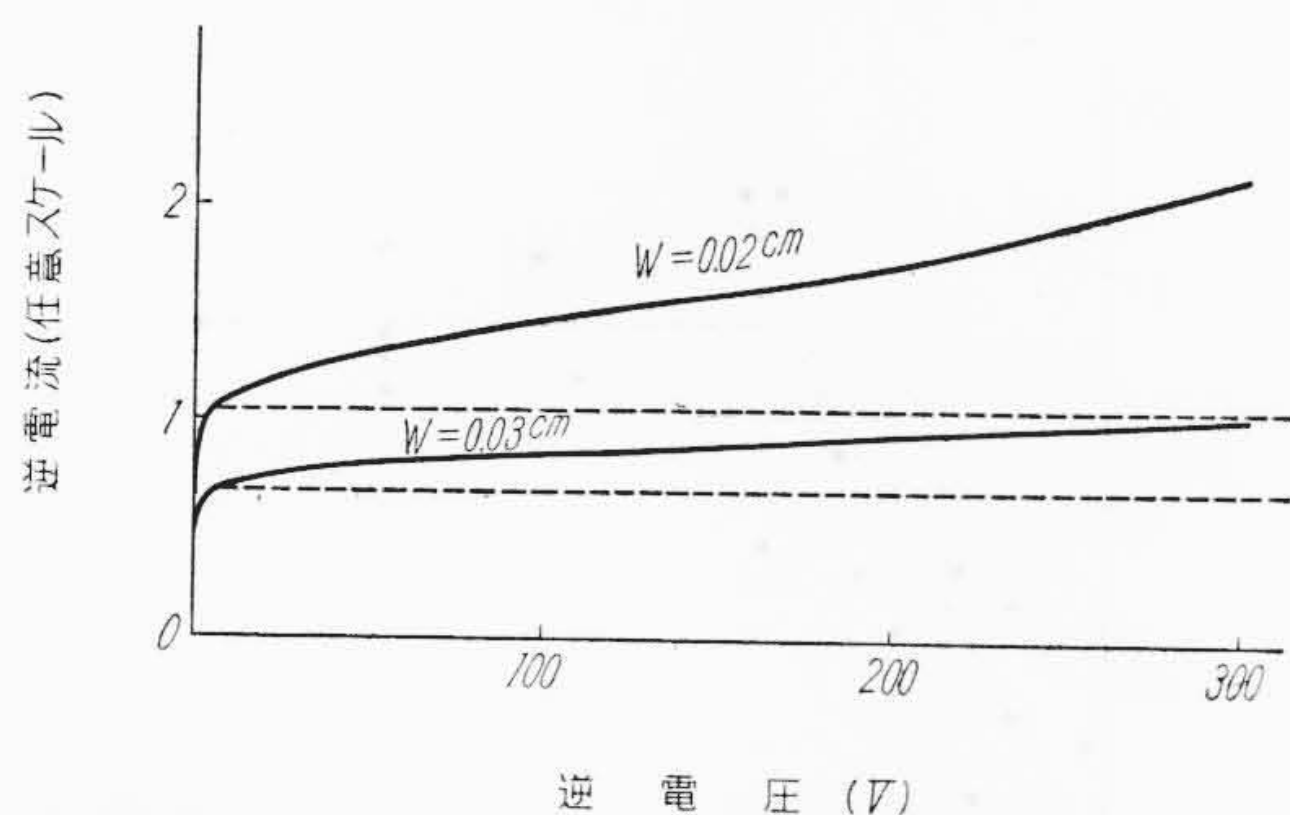


第8図 ゲルマニウム板の有効厚さと逆特性

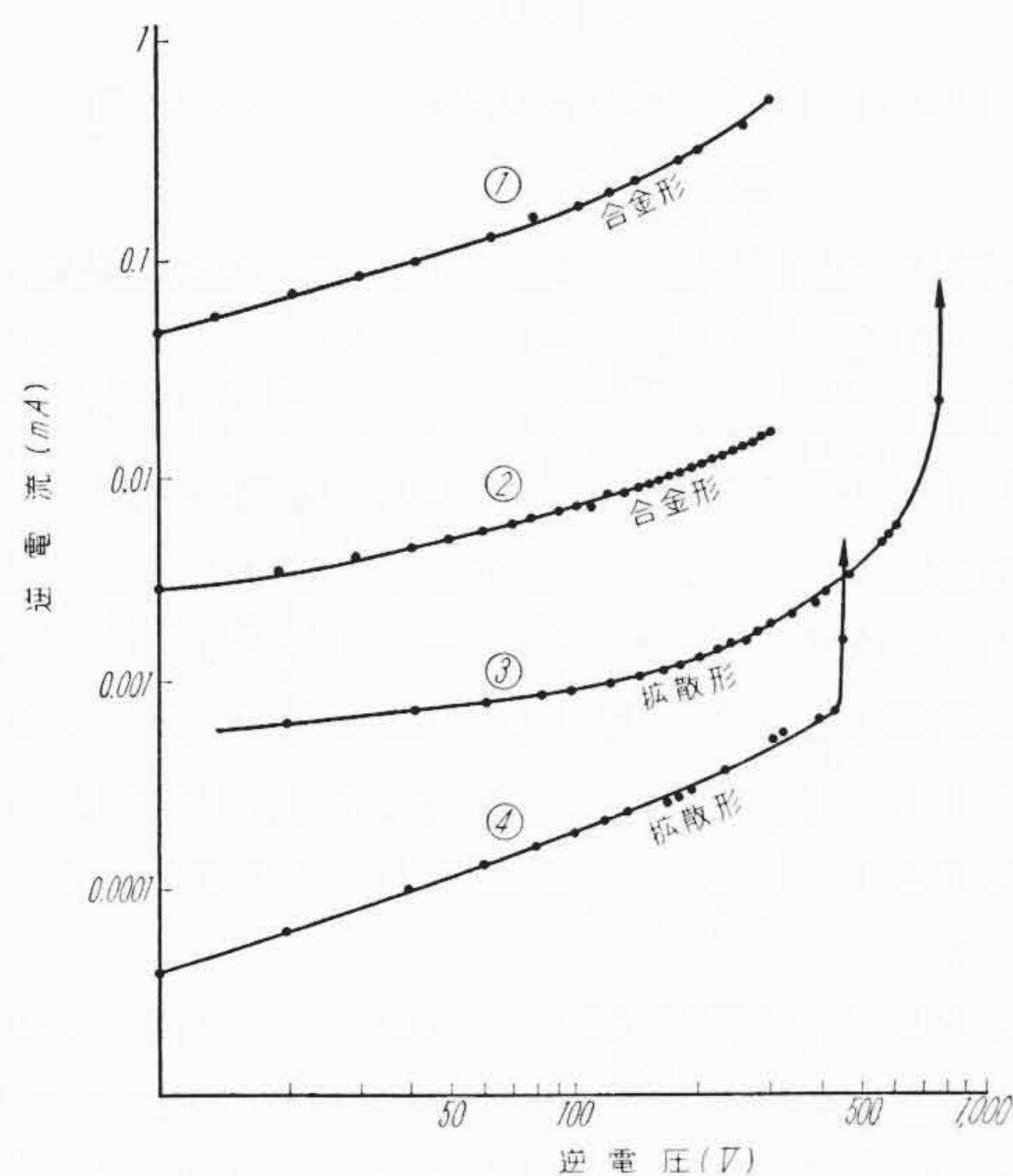
もほぼこれに従っている。式中 V_G は禁制帯のエネルギー幅である。PNR の場合は (3.1.3) 式において $S \rightarrow \infty$ とし次式が得られる。

$$I_s = \frac{kT}{q} \frac{b}{(1+b)^2} \sigma_i^2 \frac{\rho_n}{W} \dots\dots\dots (3.3.2)$$

(3.3.2) 式によれば厚さと逆流は反比例するはずであるが実験結果は必ずしも合わない。これは PN 接合が完



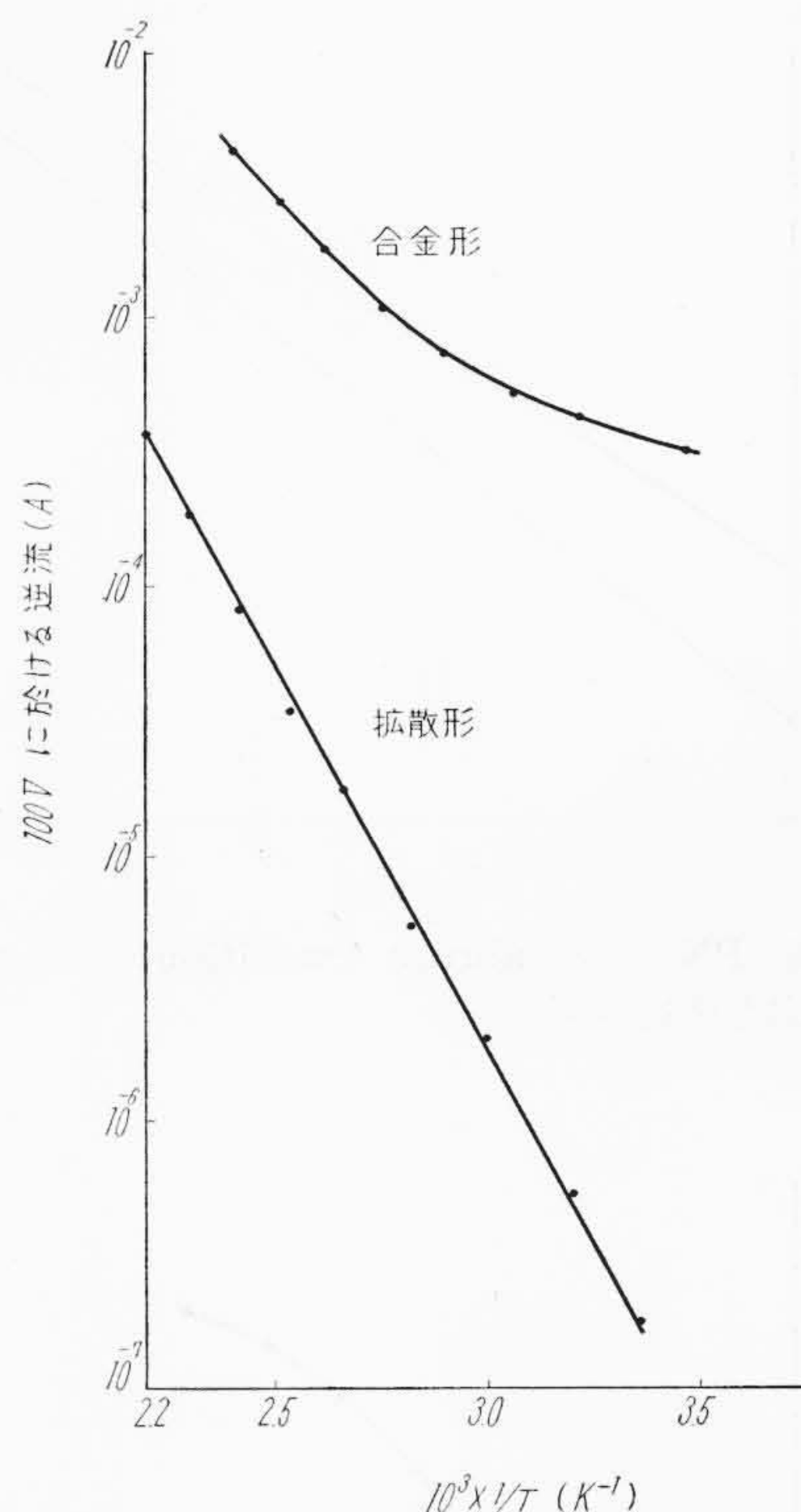
第9図 逆特性に対する空間電荷層の影響 (計算)



第10図 合金形および拡散形シリコン整流器の逆特性 (25°C)

全でないため逆流値がばらつくためと思われる。しかし厚さが極端に薄くなると第8図のように傾斜が急になり逆流が増加する。一般に逆特性は水平にならず多かれ少なかれ勾配をもっているが、これに対して空間電荷層の影響を考えることができる。逆電圧が増すにつれて空間電荷層の幅 W_s が広がり半導体の有効な厚さ W_e が減じてくる。(3.3.2) 式の W の代りに $W_e = W - W_s$ を入れば明らかなように電圧とともに電流は増加することになる。第9図は計算値を図示したもので、実線と点線は空間電荷層の影響を考慮に入れた場合と入れない場合である。

次にシリコン整流器の場合は前述のように空間電荷層中で発生するキャリアによる電流がきいてゲルマニウムの場合と非常に違った逆特性を示す。第10図は合金形および拡散形接合の逆方向特性の一例である。abrupt transition の場合について (3.1.5) 式の数値的考察が Veloric および Prince によって行われているが、実験的には



第11図 シリコン整流器の逆電流の温度特性 (100V)

$$I \propto V^{1/N} \dots\dots\dots (3.3.3)$$

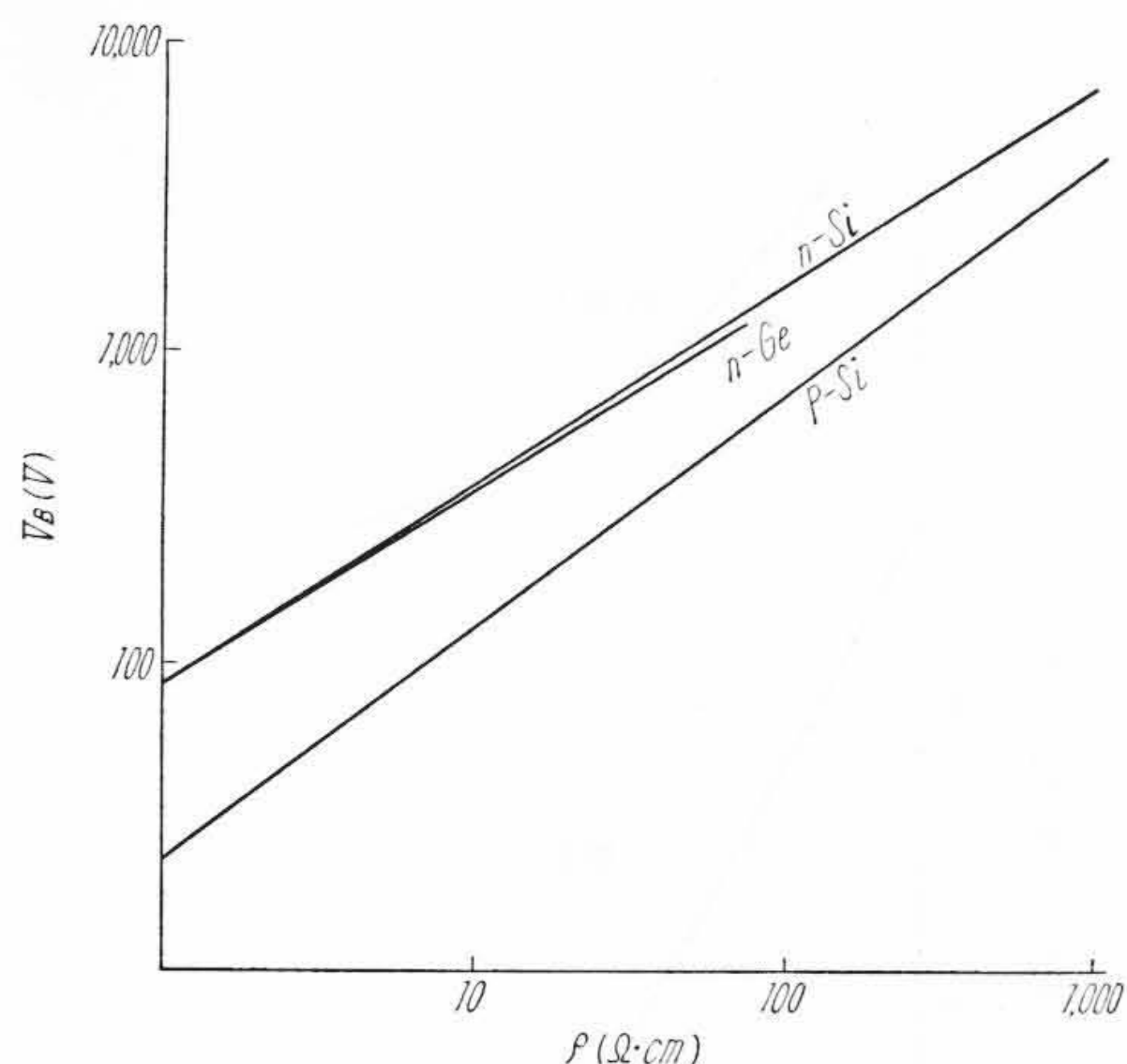
の関係が成立し合金形の場合は $N=1 \sim 2$ のものが多い。第11図は逆電流の温度特性であるが、合金形は拡散形に比しかなり変化がゆるやかである。これは接合部が完全でないこと、表面反転層の影響などによるものであろう。一方拡散形の特徴を検討してみると、trap 準位が価電子帯の上端から 0.54 eV だけ高いとしたときの I_{sc} の温度特性に相当し、これは Pell ら⁽⁹⁾の結論と一致している。

3.4 耐電圧

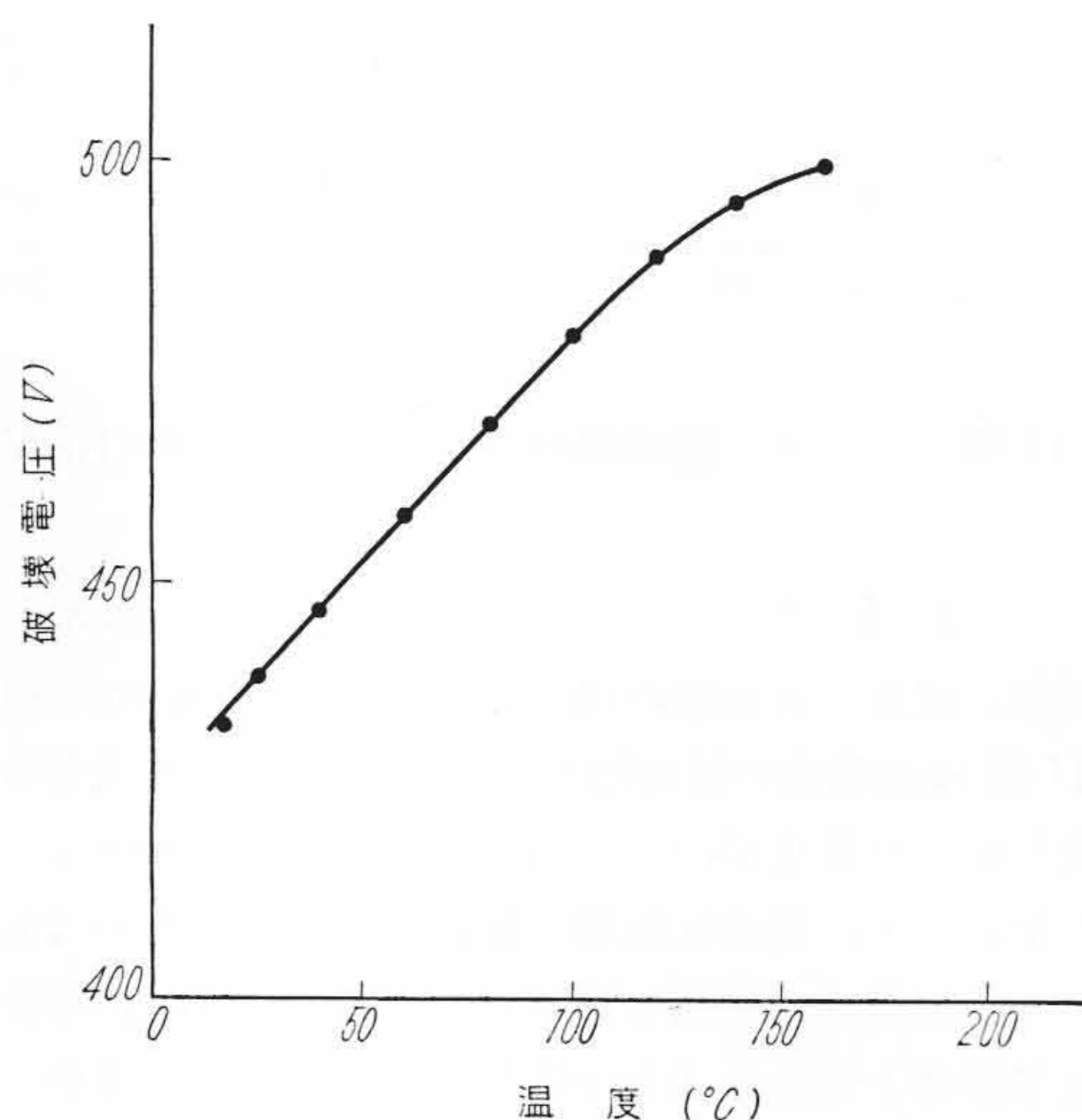
整流器に使用されるPN接合はできるだけ耐電圧が高いことが望まれるのは当然で、通常固有抵抗 $10 \Omega \text{cm}$ 以上の半導体を用いられるが、このようなものの電圧破壊の原因はキャリアのなだれによるものとされている。このなだれ破壊について Makay⁽¹⁰⁾そのほかは小面積PN接合を用いて実験的に破壊電圧 V_B を測定し

$$V_B = A \rho^\alpha \dots\dots\dots (3.4.1)$$

の関係を認めている。ただし ρ は固有抵抗、 A および α は常数である。第12図はこれを図示したものである。第10図の拡散形接合③および④のように電圧破壊が明瞭な接合は第13図に示すように V_B が温度とともに上昇することが認められる。しかし面積の大きな合金形接合では局部的弱点における部分破壊とか加熱効果のため



第12図 PN 接合 (abrupt transition) の破壊電圧と固有抵抗の関係



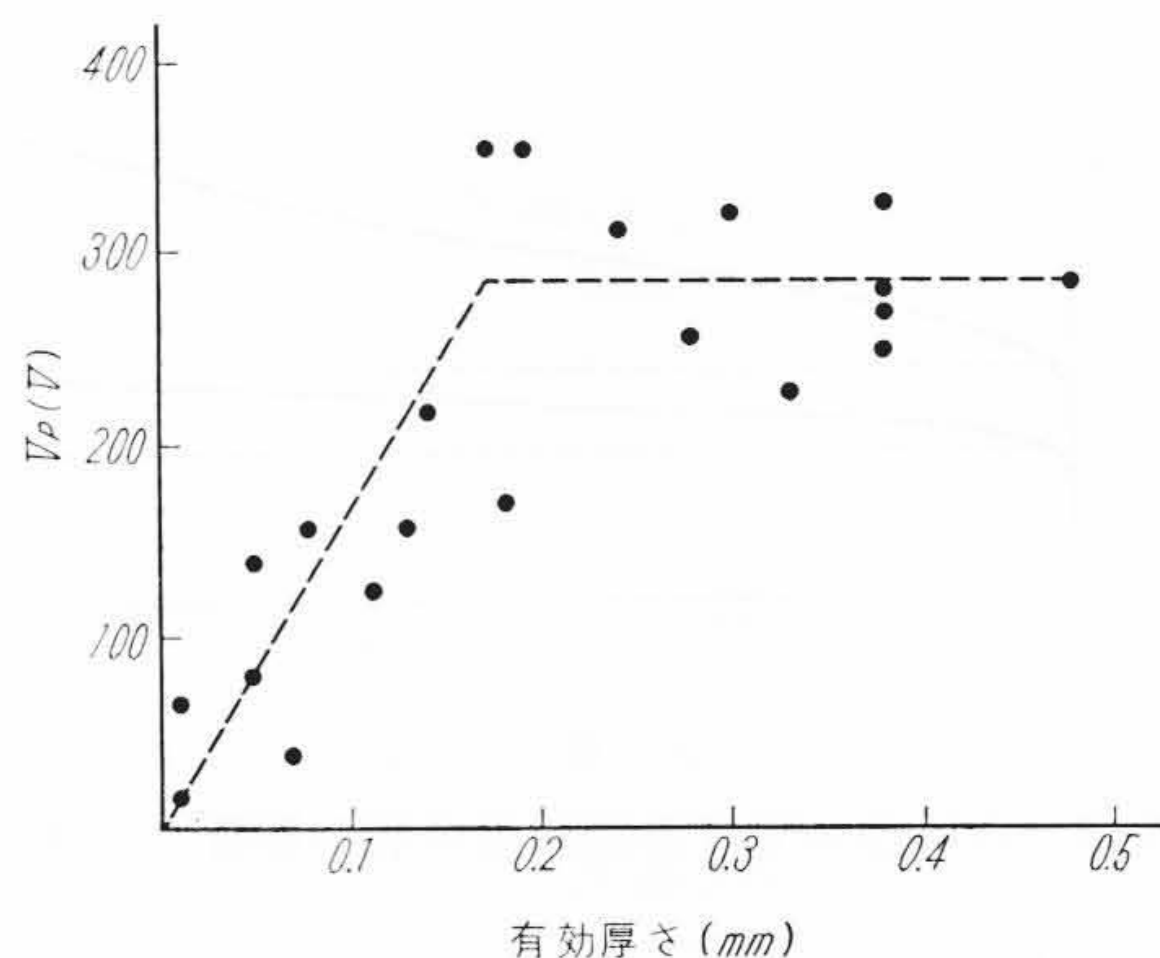
第13図 拡散形整流器の破壊電圧の温度特性

いわゆる Soft Breakdown となり明確な V_B の測定が困難である。

次に空間電荷層が広がり半導体の厚さに等しくなると Punch-through といわれる一種の短絡がおこる。実際厚さの異なった半導体で作った接合について第6図に示した逆流の急増する電圧 V_p を測定すると第14図のように V_p の急減する厚さが認められる。

3.5 表面の影響

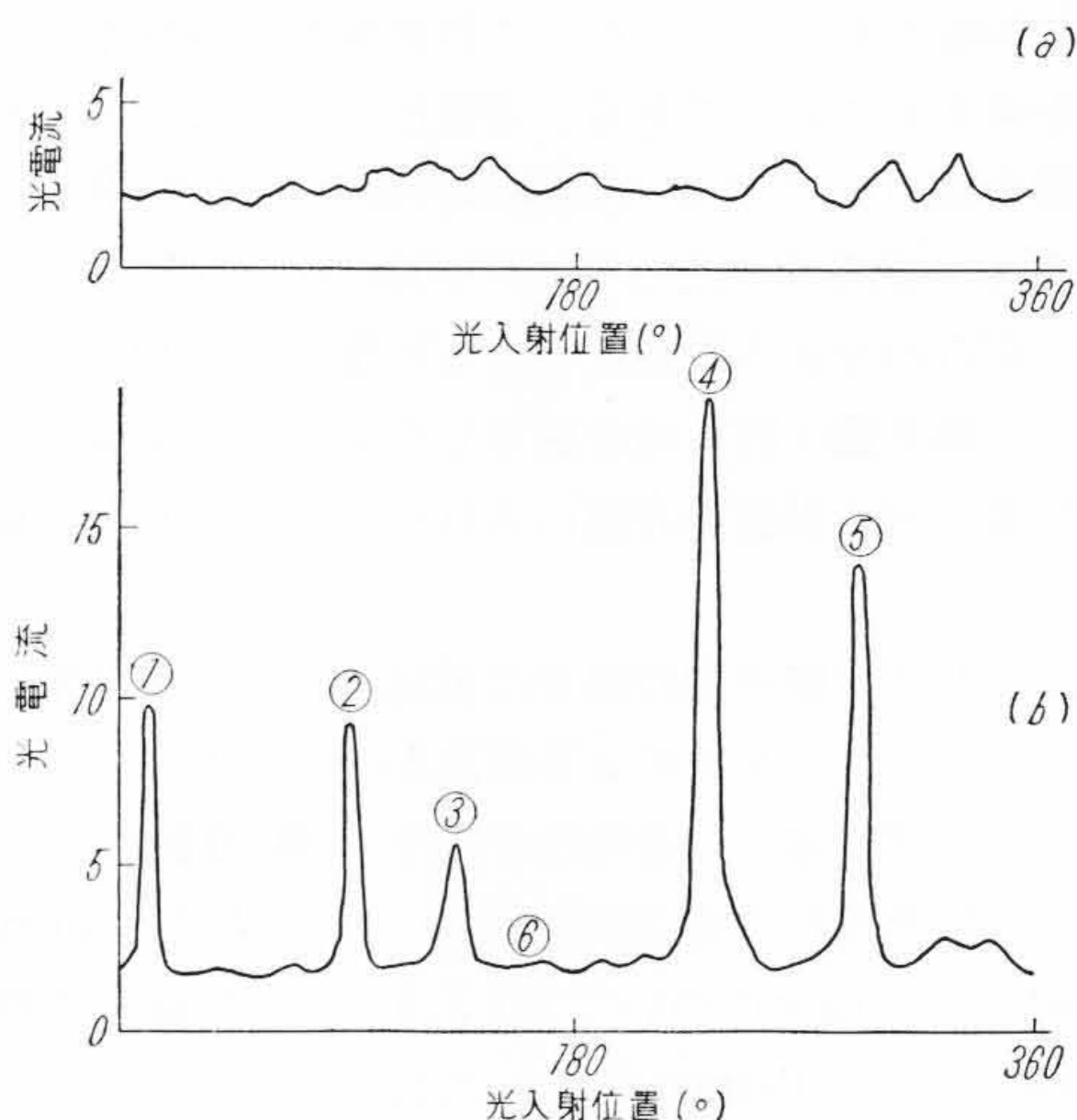
整流器を実用する上に重要なことは特性が変化したり劣化したりしないことである。トランジスタ開発当時から表面状態が PN 接合の特性に大きな影響をもち劣化の最も重要な原因であることが知られて多くの研究が行われてきた。これについてはたとえば Kingston⁽¹¹⁾によ



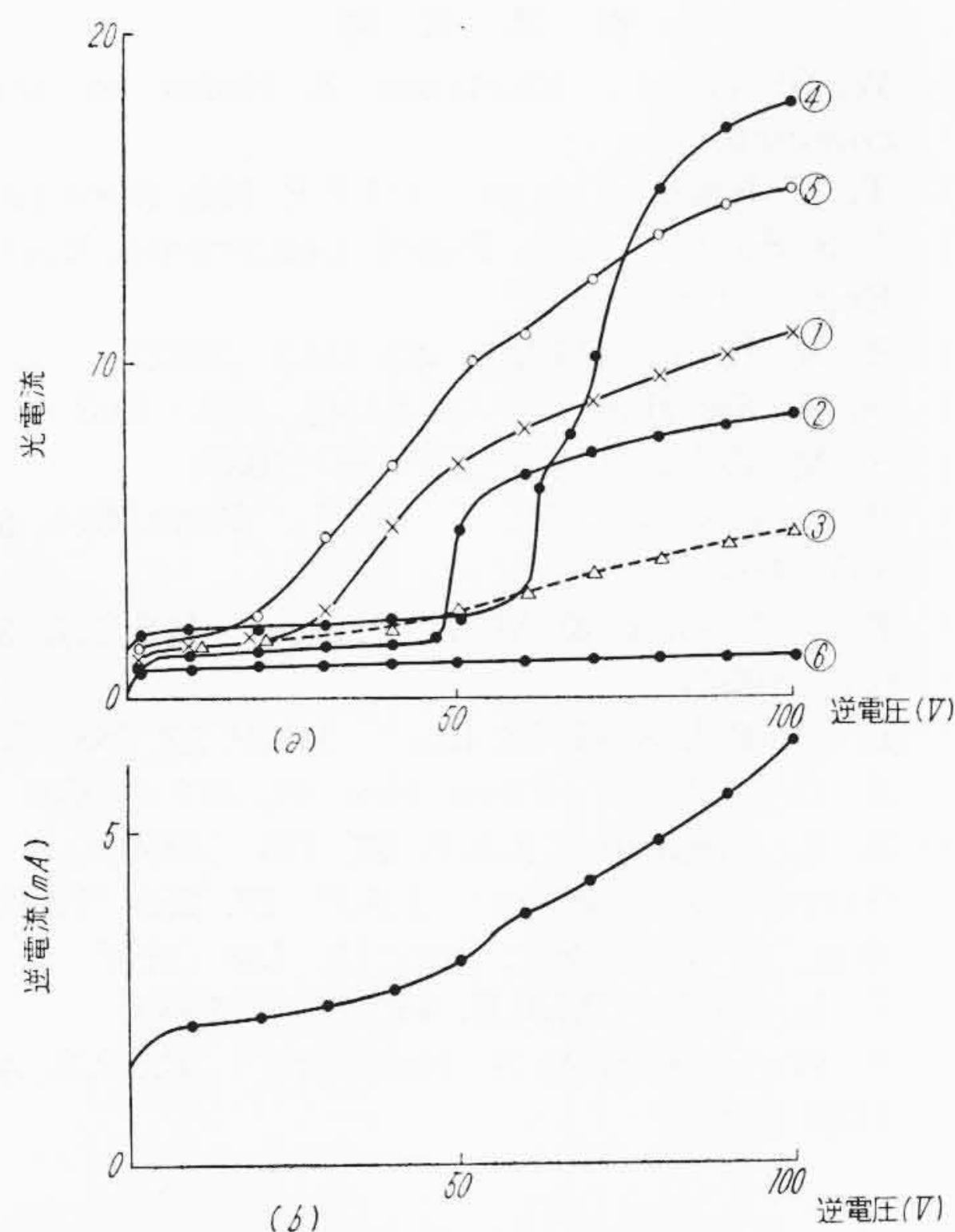
第14図 ゲルマニウム板の厚さと V_P の関係

て要約されている。表面状態による特性の変化は吸原子着によって発生する表面準位に基く表面層の導電性の変化や吸着イオンの伝導に帰せられているが、個々の現象に対して統一的解釈を行うにはさらに表面の物理化学的研究が必要である。最も影響の著しいのは水蒸気であって逆方向の V-I 曲線の形をかえたり V_B を下げたり、逆電流が時間とともに変化するいわゆる creeping をおこしたりする。したがって特性の変化をさけるには表面を清浄にするとともに完全な封緘を行って外気から護る必要がある。

次に PN 接合の特性に対しその周辺部の性質が全体の特性に大きな影響を与える。Garrett および Brattain⁽¹²⁾ あるいは菊池氏⁽¹³⁾ らが行ったと同様に、接合部の周辺に光を当てて発生する光電流を測定すると、PN 接合の局部的特性を明らかにすることができる。第15図の (a) は通常の特性的ものであるが、(b) は逆特性の悪いものであって場所により光電流の変化が著しい。第16図



第15図 接合周辺部の光電流特性 (bias 100V)



第16図 光電流の電圧特性 (a) と逆特性 (b)

(a) は第15図 (b) のピークの場合の光電流の電圧特性で場所によっては局所的な電圧破壊がおこっている。

第16図 (b) は全体の逆特性であって (a) と (b) にある程度の対応を認めることができる。

4. 制御整流器としての PNPN 接合

従来半導体整流器は格子制御ができないことが弱点の一つにあげられていたが、PNPN接合の開発はこれを解消せんとするものである。スイッチング用としてはすでに double base diode や PNP トランジスタなどが利用されてきたが、いずれも大電流用としては不適當であった。Moll⁽¹⁴⁾ が PNPN 接合のスイッチング作用を示して以後、最近電力用として Silicon Controlled Rectifier が G. E. 社で試作され、実用に供されんとしている。

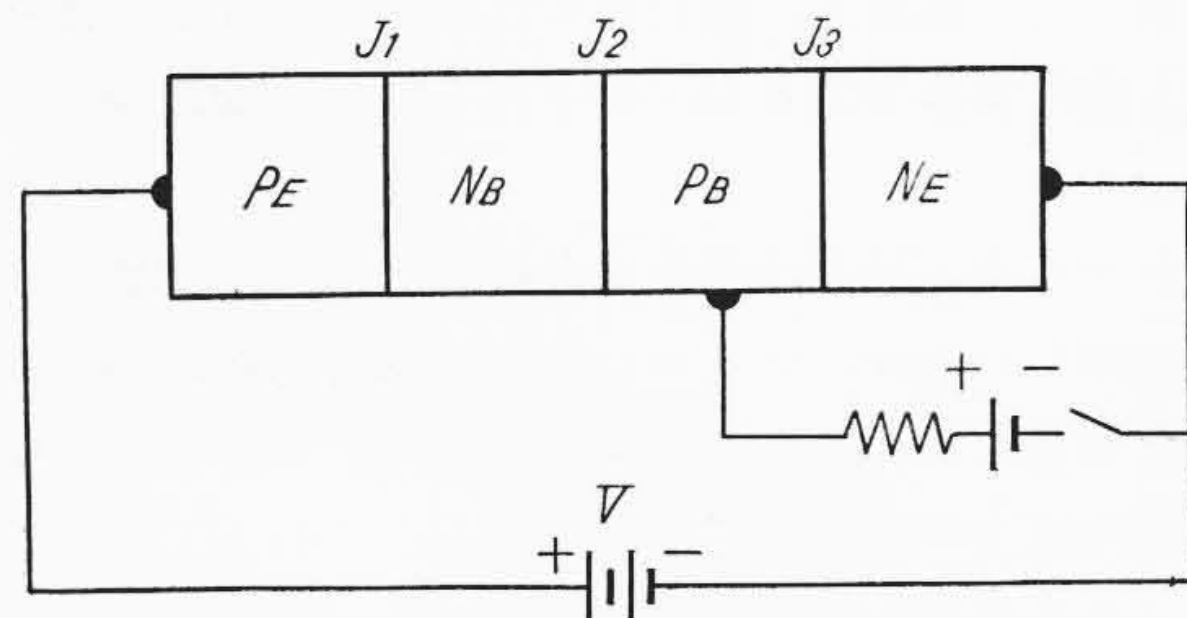
この PNPN 接合は最も簡単には拡散法と合金法の組合せで作ることができる。第17図は接合部の構成であるが、いま図示のように電圧を印加した場合 J_2 がコレクタとなるが、 J_1 がエミッタの場合のアルファを α_1 、また J_3 がエミッタの場合のアルファを α_2 とすればこの素子を通る全電流 I は次のように表わされる。

$$I = I\alpha_1 + I\alpha_2 + I_s[1 - \exp(qV/kT)] \dots \dots \dots (4.1)$$

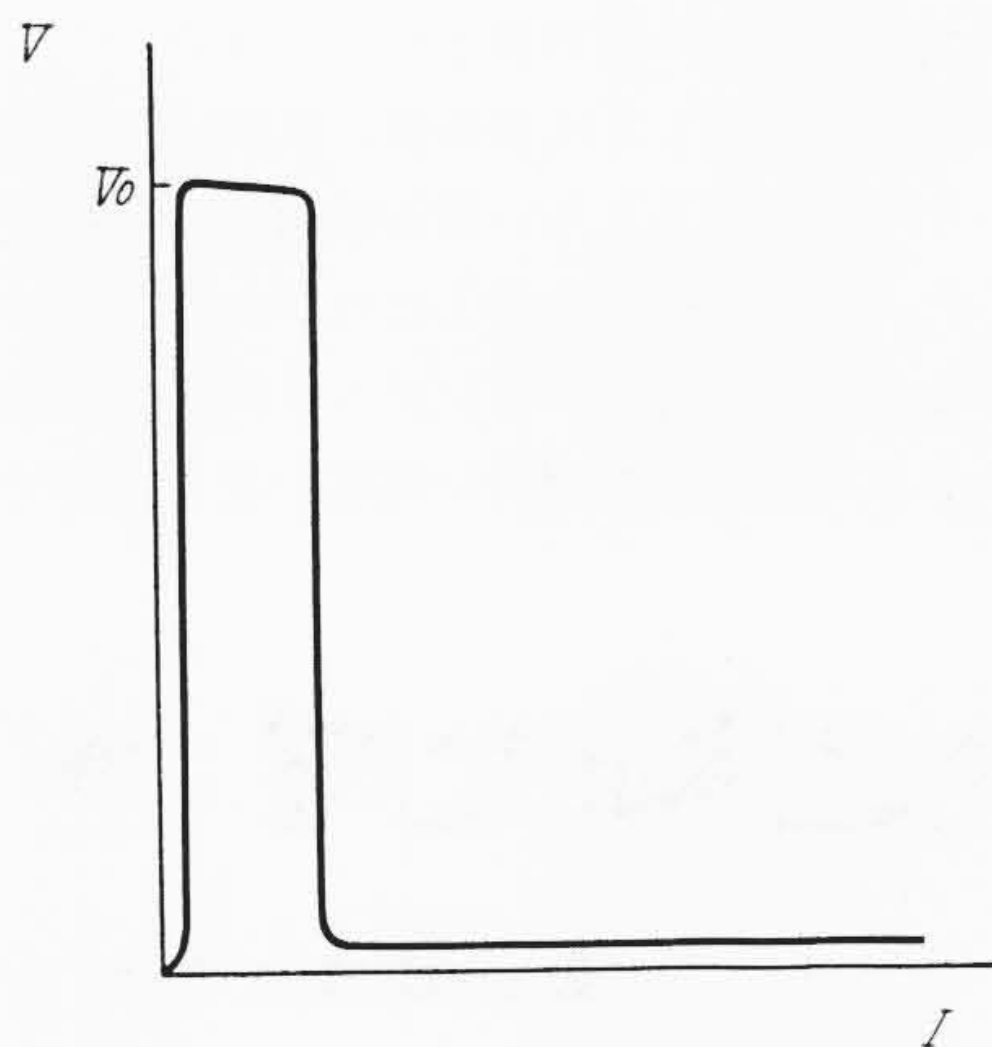
ただし I_s は J_2 の飽和電流である。(4.1) 式から

$$I = \frac{I_s}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} [1 - \exp(qV/kT)] \dots \dots \dots (4.2)$$

が得られる。逆電圧は J_2 にのみかかっているが印加電圧が大きくなり破壊電圧 V_B に近づくと増倍係数 M が



第17図 PNPN 接合



第18図 PNPN 2 極子の正方向特性

大きくなり α の代りに $M\alpha$ を用いなければならない。 $M((\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1)$ となると (4.2) 式により $I \rightarrow \infty$ すなわちなだれがおこる。この電圧は break over voltage と呼ばれ、 V_0 で表わすと (3.1.6) 式から

$$V_0 = (1 - \alpha_1 - \alpha_2)^{1/n} V_B \dots \dots \dots (4.3)$$

となる。さらに $\alpha_1 + \alpha_2 > 1$ となると⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、全電流は I より多くなることになるので、これを等しく保つためには J_2 は正にバイアスされることになる。そのときには電圧降下が著しく小さくなり、あたかも一個の PN 接合の正特性に似たものとなる。以上の経過を図示したものが第18図である。最初 V_0 より低い電圧では電流はほとんど通さないが第17図の右側の制御回路を閉じると J_3 から注入されるキャリアが増えて α_2 が増すので (4.3) 式からわかるように低い電圧で breakover するようになる。一方図と逆の電圧が印加されると、 J_1 、 J_3 がいずれも逆にバイアスされて電流は流れず整流作用を示すわけである。

現在製作されている Silicon Controlled Rectifier の容量は 7.5 A, 300 V であるが、今後容量の増大とともに応用面の発展が期待される。

5. 結 言

以上電力整流器用 PN 接合に関する若干の問題点につ

いて論じた。實際上、接合部の性質を決定するのは構成材料と製作条件であるが、いずれも多くの問題を含んでいる。

ゲルマニウム結晶は現在では材料的にほぼ満足すべきものが得られるが、シリコン結晶は固有抵抗、結晶欠陥、酸素含有量などに改善すべき点が多い。単結晶製造技術に浮游帯域法の採用は必至であるが、これとてもなお幾多の改良の余地を残している。半導体材料の新顔として金属間化合物、炭化珪素そのほかの呼声もあるが、特性、資源からみて今後の本命はやはりシリコンであろう。シリコンの品質向上は日進月歩といってよい。

PN 接合製作に関しては合金法、拡散法が主要技術であるが、その進歩にともない最近整流器の信頼度は著しく向上した。しかし技術の向上にはさらに不断的努力を続けねばならない。特にトランジスタ開発の当初よりうたわれた半永久的寿命の確実な実現が最も重要である。

参考文献

- (1) W. Shockley: Electrons & Holes in semiconductor
- (2) T. H. Kinman et al: P.I.E.E. 103, A 89(1956)
- (3) J. S. Saby: Proc. Rugby Conference, Rugby, Eng. (1956)
- (4) R. N. Hall: P.I.R.E. 40, 1512 (1952)
- (5) N. H. Fletcher: P.I.R.E. 45, 862 (1957)
- (6) E. M. Pell: J.A.P. 26, 658 (1955)
- (7) W. Shockley & W. T. Read: Phys. Rev. 87, 835 (1952)
- (8) H. S. Veloric & M. B. Prince: B.S.T.J. 36, 975 (1957)
- (9) E. M. Pell & G. M. Roe: J.A.P. 27, 768(1956)
- (10) K. G. Makay: Phys. Rev. 94, 877 (1954)
- (11) R. H. Kington: J.A.P. 27, 101 (1956)
- (12) Garrett & Brattain: J.A.P. 27, 299 (1956)
- (13) 菊池, J. phys. Soc. Jup. 12, 133 (1957)
- (14) T. L. Moll: P.I.R.E. 44, 1174 (1956)
- (15) R. W. Aldrich & N. Holonyak: P.I.R.E. 46, 1236 (1958)

特許と新案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	247376	精 密 調 整 抵 抗 器	日立工場	加 藤 春 雄	33.12. 5
"	247382	ス チ ー ム タ ー ビ ン	日立工場	加 藤 正 敏	"
"	247374	エレベータの主ロープ振れ止め装置	国分工場	中 村 隆 義	"
"	247393	移動階段の手摺駆動装置	国分工場	神 峯 次 郎	"
"	247371	流体式自動変速装置における制御装置	亀有工場	渡 部 富 治	"
"	247377	ジ ブ ク レ ー ン 用 変 速 機	亀有工場	安河内 春 雄	"
"	247379	速 度 検 出 装 置	亀有工場	渡 部 富 治	"
"	247381	石炭水力輸送装置の保安装置	亀有工場	保 延 誠 三	"
"	247383	パンコンベヤにおけるパンとチェーンとの連結装置	亀有工場	亀 井 茂 樹	"
"	247384	水 中 モ ー タ ポ ン プ	亀有工場	田 中 栄 吉	"
"	247385	水 中 モ ー タ ポ ン プ	亀有工場	田 中 栄 吉	"
"	247386	回 転 ポ ケ ッ ト 型 フ ィ ー ダ	亀有工場	保 延 誠 三	"
"	247387	イ ン タ ー ロ ッ ク バ ル ブ	亀有工場	久保沢 稔	"
"	247389	石 炭 水 力 輸 送 装 置	亀有工場	細 田 益 三	"
"	247390	ロックチャンバ型石炭水力輸送装置の自動運転装置	亀有工場	細 田 益 三	"
"	247392	水力輸送管における石炭の供給装置	亀有工場	保 延 誠 彦	"
"	247396	水力輸送管へ粒体を供給する装置	亀有工場	保 延 誠 彦	"
"	247375	気 化 器	多賀工場	荻 原 連	"
"	247380	自 動 同 期 継 電 装 置	多賀工場	比 良 清 一 郎	"
"	247388	誘導電動機 of 速度制御装置	多賀工場	上 村 民 夫	"
特 許	247391	電動機正逆転切換装置	多賀工場	田 沢 阜	33.12. 5

(第18頁へ続く)