

# 整流波形の歪に関する理論的考察

半導体の研究 第二報

齊 藤 金 一  
中 川 孝 之

The Theoretical Consideration on Wave Distortions  
of Selenium Rectifiers.

(II On Semiconductors.)

Kinichi SAITO  
Takayuki NAKAGAWA

By means of a Braun tube, we made a graphical investigation on wave distortions of selenium rectifiers under temperatures and voltages higher than the usual ones, and have given a theoretical explanation for them.

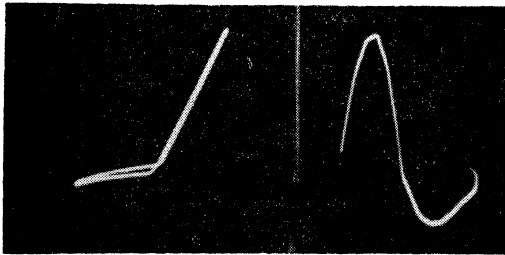
We assume that selenium rectifiers have an insulating layer and that the thickness is the value of  $10^{-5}$  to  $10^{-4}$  cm (according to the Mott and Schottky's diffusion theory). Thus we can explain that the wave distortions vary with the change of the capacitance of the insulating layer.

## 1. 緒 言

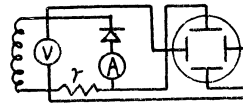
筆者等は先にセレン整流器の波形の歪に関して報告を行つた<sup>1)</sup>。その中で述べた様に整流器に交流電圧を印加した場合一般使用状態では波形の歪の現象は正確に把握出来ないが、その範囲を越えるとそれらの変化と共に特に負方向に於ける電流波形が複雑に変化する事が認められる。そして之等は各整流器に於て一定の傾向を有する点から金属整流器の整流層に固有の特性であつて、逆に此の事から整流機構究明の手がかりがえられるものとするのである。此の目的に沿つて行つた二、三の実験と理論的考察に就て紹介する。

## 2. 履 歴 曲 線

第一図(イ)は有効面積約  $1.25 \text{ cm}^2$  円形セレン板を用い、第二図の結線によつて得たオシログラムである。第一図(ロ)は同条件に於ける電流の波形である。図の場合電圧は 30 V 電流 0.16 A で



第一図 (イ) (ロ)



第二図

此の様な過負荷の状態では試料は急激に温度上昇して安定したオシログラムを得られないので放熱状態のよい変圧器油中で温度上昇を抑えつゝ得た結果である。

此の曲線によつて整流器の動特性は一般に知られている様は単一の曲線を示さず履歴を画く事が

解る。そして特に負方向に於て此の現象は著しい。此の曲線の次の諸事項に関して実験及び検討を行つた。

(1) ブラウン管回路を含む整流器の外部回路定数によつて履歴の状態が変化する。之に対してはブラウン管回路以外では抵抗 $r$ に純抵抗を用いる等の方法で殆んど完全に $C$ 、 $L$ を除去する事が出来る。然しブラウン管の増幅回路を含む垂直水平回路による電流電圧の位相のずれは完全には取除く事が出来ないし、電圧電流の値によつてその程度が変化して、定量的に之を把握する事が困難である。調相回路による補正をも試みたがよい結果はえられなかつた。次に $r$ に並列に入るブラウン管の垂直回路の $C$ の値によつて第一図(イ)の負の上側の曲線が次第に上昇して来る、之は正方向で蓄えられた電荷が負で抵抗 $r$ を通じて放電するためである。之等の問題に対しては増幅回路を使用しない事、電圧電流の位相差によつて画く曲線の履歴は交叉する事はありえない事、歪現象が負方向で特に著しく電圧温度等によつても負方向で複雑に変化する事、更に整流器の正負の抵抗に殆んど等しい二種類の純抵抗を夫々整流器の代りに挿入した結果と、同じ状態での整流器の曲線とを比較する事等によつて、曲線の履歴性に対する外部回路の影響は僅少である事が確められる。

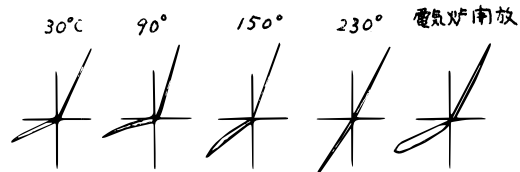
(2) 歪の温度及び電圧による変化。

第三図は $28^{\circ}\text{C}$ に於て電圧 $3\text{V}$ 電流 $21\text{mA}$ の試料をエレマ電気爐に入れて温度を上昇させながら得たオシログラムである。曲線は試料によつて相当異なるもので、多数回行つた結果の中同一傾向を有するものを代表的に示した。第四図はその変化過程に於ける温度と直流電流値との関係を参考に示した。第五図は $28^{\circ}\text{C}$ に於て電圧を上昇した場合の曲線の状態である。此の場合電流が電圧と共に急激に上昇して従つて温度が上昇するので、此の結果から電圧と温度とを分離して考察する事は出来ない。図は零 $\text{V}$ から破壊電圧約 $70\text{V}$ まで $15$ 秒で上昇させたものである。図から解る様に温度のみを上昇させた場合と異り負側で尖端が極度に大になり曲線の履歴もその附近で最大である。

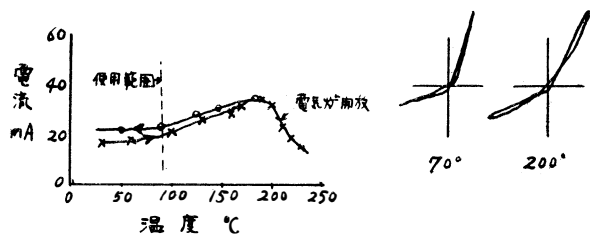
(3) 電圧に対して履歴を画く電流の経路は明らかでない。之を明らかにするために電圧及び電流のオシログラムを別々によつて合成する事によつて動特性曲線を図形的に画いて見た、そして同じ条件での履歴曲線と比較してみるとよく一致している事が解る。そしてその経路も知る事が出来る。此の事に関しては前報<sup>1)</sup>を参照されたい。

### 3. 理論的考察

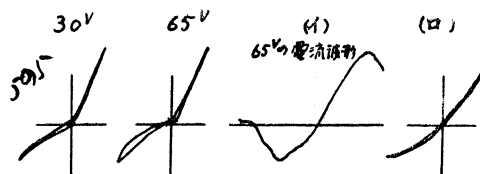
セレン整流器に於ても亜酸化銅整流器の場合の様に、金属と半導体との間に絶縁層が何等かの形で存在していて、Mott及びSchottkyの整流理論<sup>2)</sup>が支持されるものと仮定する。彼等の所謂拡散理論によれば、その整流層の厚さは $10^{-4}\sim 10^{-5}\text{cm}$ 程度であるとされている。之は整流層に於ける



第三図

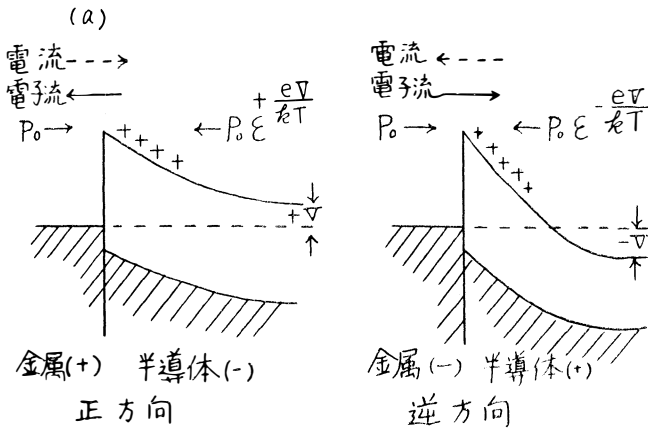


第四図



第五図

Carrier の平均自由行程に比して大なる値である。さて実験から得られる一つの事実は負方向で電圧が増加する場合より減少する時の方が電流が大きくなる事である、そして之に関連した結果を直流で行った結果<sup>3)</sup>は二つに分けて考えられる。負方向で電圧を印加した瞬間数秒の間抵抗は減少し電流は増加して一定値に達する。然しもつと長時間に亘つての即ち経年的変化は時間と共に抵抗は次第に大きくなり、電流は減少して或一定値に落着き更に制限電圧、制限温度に近い値で長時間使用すると逆方向抵抗は減少して整流器の特性は劣化する、而も此の場合は一度電圧を印加すると途中で使用しなくても此の特性の変化は進行する傾向を有するのである、後者の場合は材料の枯れ、疲労に相当するものであつて此所では問題にならないと思う。前者に就ては之を単に整流層の温度変化に起因するものであるとするが、空間電荷の分布の問題にするかは明確でないが、此の静特性のクリーブ現象と動特性に於ける波形の歪の問題とを関連して考えると、電圧印加時間の増加と共に電流値の増す点、正方向に於ては変化が認められない程少い点等で一致している。唯静特性の場合には温度の変化による電流の変化という事が無理なく考えられるのに反し、動特性に於ては此の考えは適用出来ない様である。クリーブに就ても最近整流層の電荷分布による説をとる向もあるが、動特性の場合は50~60サイクルの間の温度変化を考える事は無理で整流層の電荷分布による



第六図

ものと考えの方が適當である。今問題の所在を明らかにするために整流層に於ける energy 分布の状態を第六図に示す、セレンはP型半導体であるから不純物準位は acceptor で導電は正孔によつて行なわれるわけであるが、解りやすくするために電子伝導によるn型半導体として説明する。図の(a)は正方向電圧の場合で電流は電子流  $p_0 \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - p_0$  によつて定められ、(b)は逆方向電圧の場合で電流は電子流  $p_0 - p_0 \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right)$  で定められる。実験結果を説明するため

$$\frac{dE}{dx} = \frac{e}{\epsilon} N \tag{1}$$

こゝに  $x$  は境界から半導体の方向にとつた長さ、 $E$  は電界で此の場合整流層を流れる電子流の影響は無視出来るものとする。 $N$  は半導体不純物準位の電子(正孔)密度である。Mott 及び Schottky の整流理論によれば此の曲線の傾斜度によつてのみ電流の大きさが決定されるのであるから、我々の問題に於ては此の整流層中の電荷密度を取りあげなければならない。

次に此の理論から導かれる整流層の静電容量から此の問題を考えてみる。今整流層を厚さ  $D$ 、接触面積  $A$  の平行板蓄電器と考えると其の容量は

$$C = \frac{A\epsilon}{D} \tag{2}$$

であたえられる。そして其の厚さ  $D$  は次式の様にみちびかれている<sup>4)5)</sup>。

$$D = \left[ \frac{2\epsilon(\phi_0 - V)}{eN} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

こゝに  $\epsilon$  は半導体の誘電率、 $\phi_0$  は接触位差、従つて整流層の厚さ  $D$  は正電圧の時の方が負電圧の時より薄くて容量は正方向に於て負方向より大である事が解る。此の容量の非対称性が波形の歪の原因になると考えるのである。(1)(2) から

$$C = \left[ \frac{A^2 \epsilon e N}{2(\phi_0 - V)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

と容量が電圧の函数としてあたえられるが、更に Mott, Davydov 及び Schottky 等の理論から容量の電圧、温度及び整流層の厚さの依存性を含めた広範の式を導く事が出来る即ち

$$C = K \{ D^2 + a f(\phi_0 - V) + b \cdot \varphi(kT) \}^{-1/2} \quad (5)$$

こゝで  $k$  はボルツマンの常数、 $T$  は絶対温度  $K$ 、 $a$ 、 $b$  は常数である。

さてこゝで第六図に於て負方向の電圧の絶対値が増加している間は整流層中に電荷が吸収される事なしに半導体から金属に移動するため  $p_0 \epsilon^{-\frac{eV}{kT}}$  で決められる電子の数は比較的大きく電子流  $p_0 - p_0 \epsilon^{-\frac{eV}{kT}}$  は小さいが、電圧が最大値をこえて  $-V$  が減少するときは(3)(4)から整流層は次第に薄くなつて、容量を増すために  $-eV$  電子は整流層中に蓄えられて半導体から金属に向う電子流は減少して従つて  $p_0 - p_0 \epsilon^{-\frac{eV}{kT}}$  は大きくなつて、負方向の履歴が画かれるわけである。

同様の考え方によつて正方向でも電流は履歴曲線を描く筈であるが、此の場合半導体から金属に移動する電子は電圧に対して exponential に増加するのに対し、整流層に蓄えられる電子は(4)(5)から  $V^{-1/2}$  に関係して定められるので無視出来るわけである。従つて正方向では殆んど履歴を描かない事が説明される。温度変化によつて履歴の状態が変ることは(5)を上の方の考え方に用いれば理解されるものである。尚(5)式の  $b\varphi(kT)$  は相当複雑な函数形であるため歪の温度特性も実験にあらわれた様に複雑になるものと考えるが此の事に就ては更に研究したいと思つている。

#### 4. 結 論

以上セレン整流器の波形の歪が高電圧高温度の状態で著しく生ずる事、電圧及び温度と共に変化する状態、及び之等の現象が特に負方向で多い事等に就て観察して、理論的には之等の現象が整流層の電荷の吸収、放出に起因するものとして、静電容量の立場から一応の説明を加え得た。然し実験には尙不明の点が残されているし、考察には多くの独断が行なわれているので、更に一層研究せねばならないと考えている。

#### 参考文献

- (1) 齊藤, 中川; 電気学会北陸支部連大論文集 (昭和28年)
- (2) N. F. Mott and R. W. Gurney, Electronic Processes in Ionic Crystals, Chap. 5
- (3) 齊藤; 本誌 第四卷 一, 二号 (1953)
- (4) H. C. Torrey and C. A. Whitmer, Crystal Rectifiers, Chap. 4
- (5) 川村, 小林等; 電子放射と半導体第九章.