

800 A 平形高耐圧シリコン整流素子

800 A High Voltage Flat-packaged Rectifier Diodes

田原真人*

Makoto Tawara

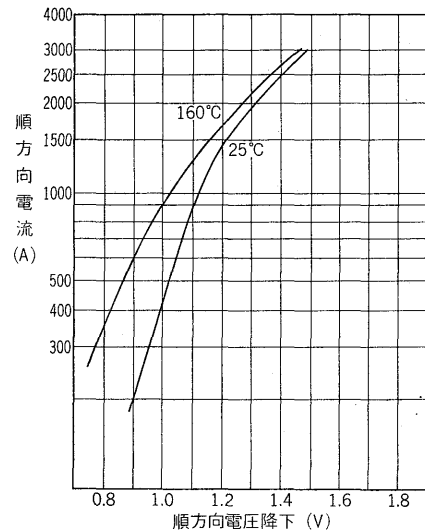
I. ま え が き

すでに紹介した 3,000V 500A 平形シリコン整流素子 KSN 03-30⁽¹⁾ にひきつづき、さらに電流量を増した 3,000V 800A 平形シリコン整流素子 KSP 03-30 を開発完成した。これにより車両用、電鉄変電所用、化学用などの整流装置への適用に対して、800A までの高耐圧素子系列が完成されたのみならず、高耐圧大電流サイリスタと組合わされ、大電力制御装置に使用される素子として脚光を浴びつつある。本素子はすでに電鉄変電所その他に適用するため数多くの製作実績を有し、当社のこれまでの電力用素子とともにすぐれた特性および信頼性が確認されている。大容量半導体素子は使用する材料の進歩とともに高度の製造技術および素子構成技術の開発を必要とする。本稿では 3,000V 800A 平形高耐圧整流素子の特性、構造とともにこれらについて紹介する。

II. 素子の構造

KSP 03 の整流エレメントは KSN 03 および SIN 03 と同じく拡散合金形であり、接合設計、製造方法についても特に変わることはない。したがって電流量にほぼ比例した大きさのシリコン単結晶を用いるほか、ベース領域の幅なども基本的には KSN 03 とほぼ同じである。しかしながら素子を大容量化する場合に満たされるべき基本事項は

- (1) 素子発生損失の減少（順方向特性の向上）
 - (2) 接合部周囲間の熱抵抗を減少（冷却効果の向上）
- という 2 点にあることはいうまでもないが、これらと素子の逆方向耐圧、過電流耐量とを考慮して接合設計を行なわねばならない。KSP 03 の場合、KSN 03 に適用されている拡散技術をさらに高度化し、 p^+ と n^+ 領域にはさまれた中間領域中のキャリアの拡散長 L をきわめて安定に高く保っている。その結果と順方向電圧降下の値を考慮してシリコン単結晶の高抵抗のベース幅を決定した。また KSP 03 ではシリコン単結晶の直径が約 20% 大になっているので、単結晶の選択にあたり、結晶内の抵抗率のばらつき、結晶性などには充分留意せねば



第1図 順方向特性

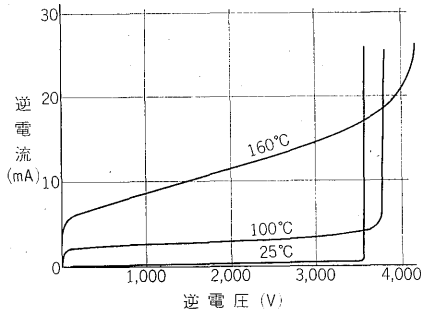
Fig. 1. Forward characteristics

ならない。第1図に KSP 03 の代表的な順方向特性を示す。KSN 03, SIN 03 にくらべ電流量を増大したにもかかわらず、順方向電圧降下ならびにそのばらつきを小さくすることができた。

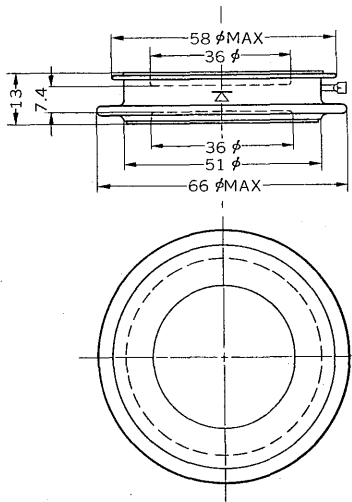
逆方向特性においては拡散接合のドーピング濃度をきわめてゆるやかに、かつ均一にして、低い抵抗率、狭いベース幅で高いアバランシェ電圧を得ている。当社の拡散技術はこのゆるやかなドーピング濃度傾斜をもち、かつ不純物の Precipitation の影響の少ない接合をつくることに関して、すでに 200~500A ダイオード、サイリスタに数多くの実績を積み重ねており、KSP 03 にもこの技術を適用し成功している。さらにエレメントの接合表面処理に対しても、接合表面の形状（ベベル構造）、エッチング方法および表面保護皮膜処理方法など、大容量化に伴う処理工程のばらつきを克服して第2図に示すような接合温度 160°C においても安定した特性を得ることが可能になった。

これらのすぐれた特長を有するエレメントを効率よく使用するために KSP 03 のパッケージには、すでに KSN 03 などにおいて紹介した加圧接触、平形構造を採用している。第3図、第4図に KSP 03 の素子構造および外形を示す。平形構造は素子の大容量化、高耐圧化には最適の構造であるが、大容量化されるにしたがっ

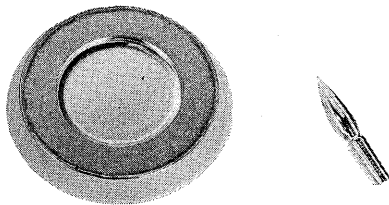
* 松本工場



第 2 図 逆方向特性
Fig. 2. Reverse characteristics



第 3 図 KSP 03 外形図
Fig. 3. Outline view of rectifier diode KSP 03



第 4 図 平形高耐圧整流素子 KSP 03
Fig. 4. Rectifier diode KSP 03

て、エレメントおよび組立構造部品の材質、精度および取扱いに留意しなければならない。特にエレメントおよびケース部分の金属板材料の選択、表面状態、平坦度および平行度は接合部ケース間の熱抵抗および順電圧降下の値に影響し、これらの製造時の処理法および管理には特別の考慮を払っている。KSP 03 平形素子はこのような厳密な管理のもとで製造されるので、エレメント基板とケースがろう付されている平形素子にくらべ、ひん繁な温度サイクルの繰返しあるいは高温放置をおこなっても常に安定な特性を示している。

III. 素子の特性

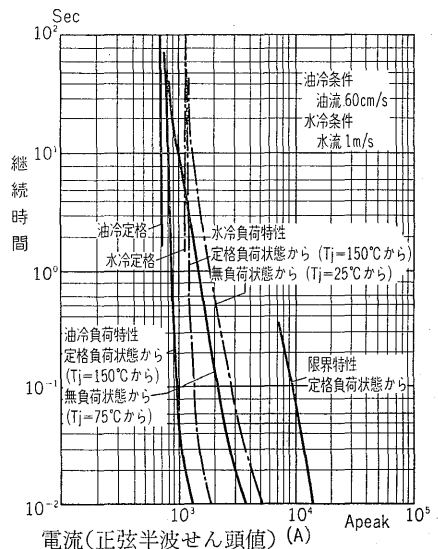
1. 定格および特性

3,000V 800A 平形整流素子 KSP 03-30 および

2,500V 800A 平形素子 KSP 03-25 の定格および特性を第 1 表に示す。また定格負荷状態および無負荷状態からあらかじめ規定された時間の過電流を流した場合の過電流耐量曲線を第 5 図に示す。

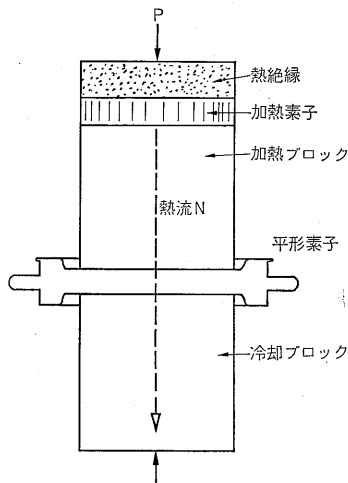
第 1 表 KSP 03 の定格および特性
Table 1. Ratings and characteristics of rectifier diode KSP 03

項 目	記号	KSP 03-25	KSP 03-30
1 繰返しピーク逆電圧	V_{Ro}	2,500V	3,000V
2 非繰返しピーク逆電圧	V_{Rt}	2,800V	3,300V
3 順電圧降下	V_F	$\leq 1.6V$ ($T_j=25^\circ C, 2,500A$)	
4 定格平均順電流	I_F	800A (单相半波平均値 $T_F=100^\circ C$)	
5 逆電流	I_{Ro}	$\leq 8mA(25^\circ C)$ $\leq 50mA(160^\circ C)$	
6 過電流耐量	I_S	12,500A(50Hz 1サイクル) 14,000A(60Hz 1サイクル)	
7 I^2t 限界値	I^2t	700,000A ² s(160 $^\circ$ C)	
8 許容周波数		$\leq 2,000Hz$	
9 定格接合部温度	T_j	$-40 \sim +160^\circ C$	
10 接合部冷却時間抵抗	R_{th}	$\leq 0.04 deg/W$	
11 保存温度	T_{stg}	$-40 \sim +160^\circ C$	
12 素子重量		約 120g	
13 標準締付加圧力		1,000 \pm 100kg	



第 5 図 KSP 03 過電流耐量曲線
Fig. 5. Relationship between overcurrent and time (KSP 03)

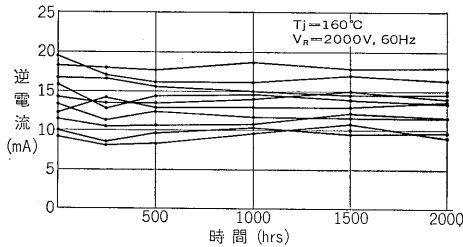
大容量平形半導体素子の定格を決定する際、接合部冷却体間の定常熱抵抗は順電圧降下とともに重要な特性項目である。当社では定常熱抵抗の測定に熱流法と呼ばれる測定法を採用している。第 6 図に示す原理図のように、上部に加熱体を装着した加熱ブロックと下方の冷却ブロックの間に平形素子を一定圧力で加圧し、与えられた熱流Nは素子をカソード側からアノード側へ通過し冷



第 6 図
熱流法による熱抵抗
測定原理図

Fig. 6.
Principle schema of
thermal resistance
by heat flow method

却ブロックへ流れる。素子の上下ケース温度差を測定すれば素子を貫く全熱抵抗 R_s が求められ、既知の係数により素子の熱抵抗が求められる。この方法によれば従来の直流法より測定時間が短い上に測定精度が高く、大容量素子の品質管理上有効な方法であるので、これを実用化し平形ダイオードのみでなくサイリスタにも適用している。



第 7 図 KSP 03-30 電圧印加試験結果
Fig. 7. Example of voltage life test

2. 信頼度試験

(1) 逆電圧印加試験

逆方向特性の安定性は素子の信頼度を決定する最も重要なものであり、素子を熱板に装着して、高温で規定の逆電圧を印加する逆電圧印加試験を行なっている。この試験を多数の素子について長時間実施したが、逆電流の変動あるいは増加するような素子は皆無であり第 7 図の一例に示すように逆特性は非常に安定している。

(2) 高温放置試験

最高許容接合部温度で素子を長時間放置したが、逆特性をはじめ、順電圧降下、熱抵抗など諸特性の変化はなく、特に逆特性曲線を観測したがまったく安定していた。

(3) 等価負荷試験

低圧大電流電源と高圧小電流電源を組合わせ半サイク

ルごとに切換えて実負荷状態と同等な効果をもつ等価負荷試験装置により長期間にわたり素子を試験した結果、諸特性の変動は認められず、良好な運転結果を得ている。

(4) そのほか

温度サイクル試験、間欠負荷試験のほか機械的強度試験として振動、衝撃試験を実施したが特性的、構造的に問題なく良好であった。

これら一連の信頼度試験の結果、800~1,000A 級の高耐圧大容量平形素子は、数百アンペアの従来素子と同等以上の信頼度を有することが確認された。素子の量産の場合には最終工程においてスクリーニングとして全数特性試験を実施するほか、信頼度試験項目に相当する試験を規定時間実施し信頼度の保証を行なっている。しかしながら大容量平形素子を使用する整流器などの組立においては、常に冷却体との接触の良否、締付圧力のかけ方に注意しなければならない。前述のように冷却体および平形素子のアノードおよびカソード側の金属板の表面状態、平坦度はいうまでもなく、1,000kg の加圧力で締付けることを考えれば締付けの際の片押しのないよう平行度など充分管理された治工用を用いなければならない。

IV. む す び

3,000V, 800A 平形シリコン整流素子は当社ですでに量産され電鉄変電所用整流器に適用されている。平形半導体素子は、半導体技術の進歩によって最高の特性を有する半導体エレメントから、最も効果的にその特性を使用するように開発された。これらを用いた装置は小形軽量化、保守の容易化などの長所を有するものであるだけに、素子に要求される信頼度は高い、これらの要素を考慮し、素子の定格を決定するまでには、素子の設計、製造および試験検査における技術的問題の解決、向上がなければならない。われわれはこの課題を比較的小さい容量の素子から手がけ、大容量化と取組む過程で次々と解決し、ここに KSP 03 を完成した。KSP 03 は素子の特性からみても、また使用実績からみても世界の最高水準をゆくものと確信している。

参考文献

- (1) 田原, 春木: 富士時報 41 No.2 (昭 43)
- (2) 加藤: 富士時報 38 No.11 (昭 40)
- (3) 森, 加藤: 富士時報 38 No.11 (昭 40)
- (4) 田原, 島田: 昭 43 電気四学会連大 640



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。