

ユニットセル形大容量シリコン 整流素子, 制御整流素子

Unit Cell Type Large Capacity Silicon Diode and Thyristor

佐々木 威* 和 島 幸 一*
Takeshi Sasaki Kôichi Wajima

要 旨

ユニットセル構造により大容量の半導体素子 F01 (500A, 3,000V SR) CH03 (400A, 2,500V サイリスタ) を完成した。ユニットセルは従来のスタッド形が熱をジャンクションの片面より取り出していたのに対し、ジャンクション両側より取り出す構造にしたものである。この構造により熱抵抗は半減し素子の容量を増大させることができる。ユニットセルは目的に応じた従来と異なる適用技術が必要である。加圧状態で各種の長期寿命試験を行なった結果、従来の素子と同じ良好な信頼性を確認することができた。

1. 緒 言

シリコン整流装置, サイリスタ整流装置において適用されるシリコン整流素子(以下SR), サイリスタの容量増大は装置の経済性向上, 素子適用技術の簡素化のため欠くことができない問題である。このため電流容量の増大, 逆耐電圧の向上は電力用SR, サイリスタの開発以来絶えず推進されてきている。今までこの方面の進歩のため多くの技術革新がなされとげられてきた。これらはジャンクションの設計法, 拡散, 合金といったジャンクション形成法, 表面処理法といったジャンクション製作技術と接着技術を含むパッケージ関係の技術の二つに分けることができる。その結果日立製作所においてはさきにH03(3,000V, 300A SR)⁽¹⁾, CJ02(1,600V, 250Aサイリスタ)⁽²⁾を完成し, ひきつづいてさらに大容量のF01(3,000V, 500A SR), CH03(2,500V, 400Aサイリスタ)を完成した。これらはジャンクション製作技術の向上とともにパッケージ構造に関する新技術の確立に基づくものである。この構造の素子はユニットセルと名づけられたが本報告では主としてこのユニットセル構造について述べ, それを採用して作られた素子を紹介する。

2. ユニットセル

2.1 原 理

素子の電流容量の増大は定常状態での連続通電容量の増加の問題および過渡時の過電流耐量増加の問題の二つに分けることができる。装置の素子並列個数は素子の過電流耐量により定まる場合が多く, 後者はきわめて重要である。いずれにせよ電流容量は接合の温度で制限されるから

- (1) 冷却効果をよくすること.....熱抵抗の減少(パッケージ構造)
- (2) ジャンクションの損失を減らすこと.....順電圧降下減少(ジャンクション構造)

上記2点が電流容量増大の基本であり過電流領域から定常状態にいたる範囲でこの要求が満たされる必要がある。この要求を具体化したものがユニットセルにほかならない。

ユニットセルは従来のスタッド形パッケージが冷却にあたって熱がジャンクションの片面からのみ取り出されていたのに対し熱を接合の両側より取り出す構造にしたものである。図2はスタッド形であるが銅ベースへ接着されたシリコンの上部にはたわみリード線があり, このリード線はベースに比べ熱抵抗が非常に大きいからジャンクションで発生した熱のほとんどすべてを銅ベース側に放散して

* 日立製作所日立工場



図1(a) ユニットセル SR(F01)

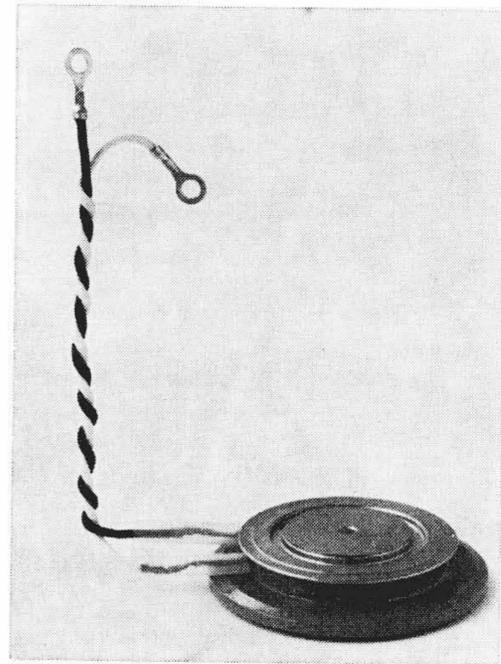


図1(b) ユニットセルサイリスタ(CH03)

いた。一方ユニットセルは図3の基本構造を有し, 熱はジャンクションの上下に分流し熱抵抗は半減する。またジャンクション上部に接する銅筒(ポスト)により過渡熱抵抗も低下する。すなわち定常時, 過渡時の熱抵抗双方が減少し同じジャンクションを用いたとしてもスタッド形よりユニットセルは電流を増大させることが可能である。

2.2 構 造

図4にユニットセル形整流素子F01の構造概略を示す。ジャンクションには銅ポストが接し耐熱疲労性溶ダにより接着されておりポストの他面は直接冷却体に接するようになっている。ユニットセルの構造は以下を考慮し種々の試作を行なったのち現在考えられる最善のものとして採用したものである。

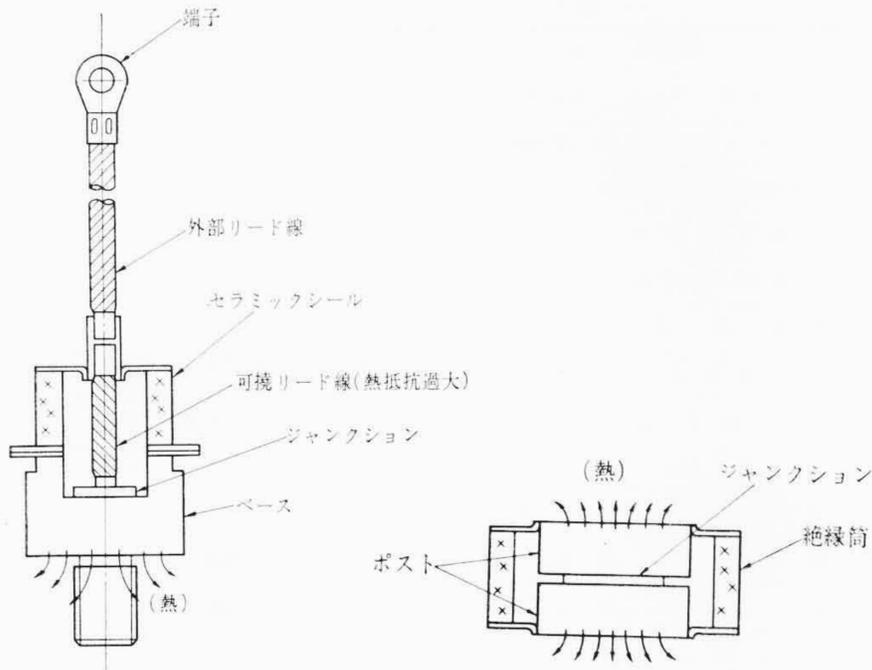


図2 スタッド形

図3 ユニットセル

(1) 熱抵抗を最小にする。

構造および構成部品の寸法, 材質, 接着方法につき多くの検討を行なった。

(2) 熱サイクルに強い。

接着構造に数多くの検討を行なった。

(3) 特許問題

加圧接触形として外国より多くの特許が出されているからこれに抵触せぬよう考慮した。

そのほか装置, スタック組立の際便利なようにポスト中央にセンターリングの案内孔を設けた。また内部に封入するジャンクションにスタッド形の接合製作技術に改良を加え, ユニットセル用として順電圧降下, 熱抵抗の一段と小さいものを特に開発して用いた。これにより熱抵抗が接合-冷却体間で $0.05^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 耐熱疲労性にきわめてすぐれた素子が得られた。

2.3 適用上の問題

ユニットセルは熱抵抗が最小になるよう作られており, これを生かすためには適用上種々な配慮が必要である。

(1) 素子取扱

素子と冷却フィンは大い面積で接触しこの接触の熱抵抗が全熱抵抗に大きな割合を占めるため素子の取扱には特別な管理が必要である。ポストの接触面をよごしたり傷つけたりしないよう注意が必要であり, フィンと接触させる際も異物やほこりがはいらぬよう配慮が必要となる。

(2) 接触面平坦度

接触の熱抵抗を小さくするため接触面にはスタッド形で用いられているようなシリコンオイル, グリースの類を塗布することが有効であるが, この点については接触面平坦度の向上が最もたいせつである。現在ポストの接触面は平坦度 5μ , 面あらし 3μ に仕上げてある。図5は接触面に塗布剤を適用した場合とない場合の熱抵抗を示したものである。カネクロールは油浸の場合を考慮したデータである。これら塗布剤による差は認められない。図6は平坦度の良否と熱抵抗の関係を示したものである。熱抵抗はいずれもジャンクション-フィン間の熱抵抗である。

(3) 加圧力

F01の冷却フィン, 素子間の熱抵抗, 順電圧降下と加圧力の関係を図7に示す。整流装置の組立てにあたっては圧力と特性値の飽和領域すなわち圧力変動による熱抵抗, 順電圧降下の変化がないような領域の加圧力で締め付ける必要がある。

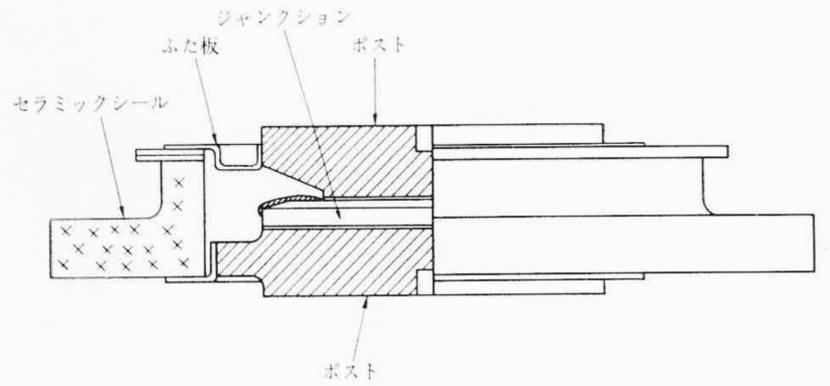


図4 日立ユニットセルの構造

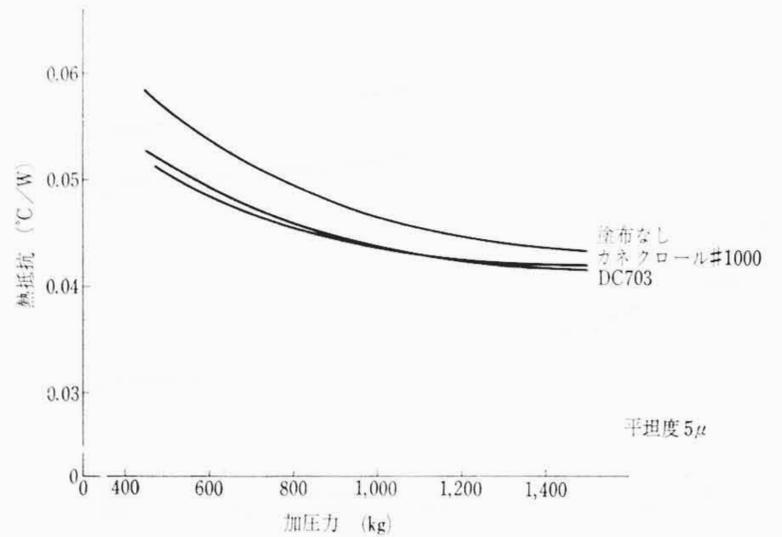


図5 塗布剤の熱抵抗に及ぼす影響

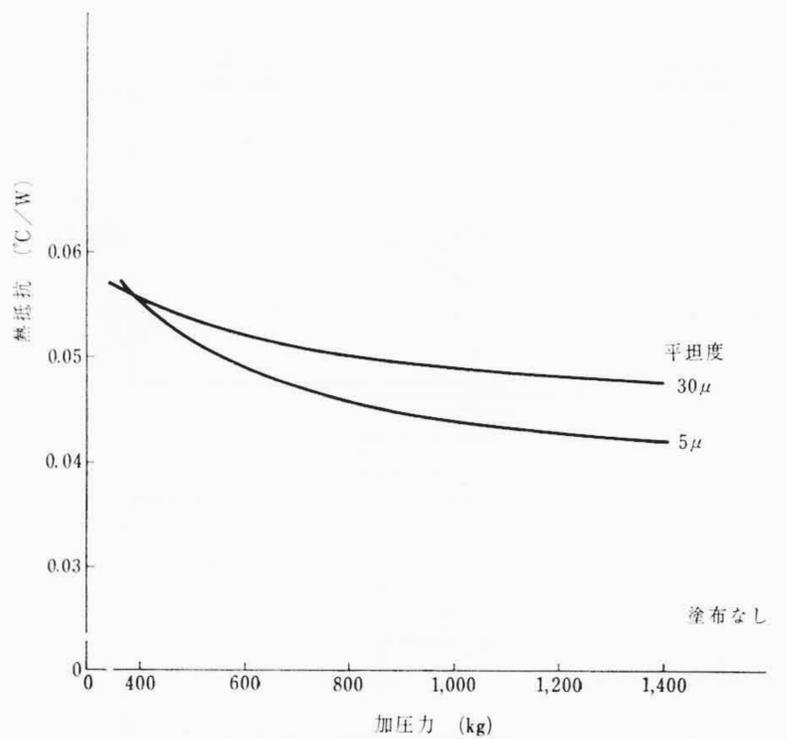


図6 ポスト平坦度と熱抵抗

(4) 締め付け法

整流装置組立ての際, 素子の平行度も大きな要因であるがこれを全素子にわたってそろえることはきわめて困難である。したがって組立てにあたっては両端をボールシートなどの球面接触させる必要がある(図8)。また熱膨張係数の異なる構成部分を締め付けるわけであるから温度による圧力の変動を補償するため皿バネなどの弾性体を介した締め付けが必要である。

2.4 信頼性

ユニットセルの従来素子と異なる大きな点はジャンクションに大きな加圧力の印加されていることで, $1\sim 2\text{t}$ の加圧力をうけて運転するところに最大の問題があり, 素子の信頼性確認のため加圧状態

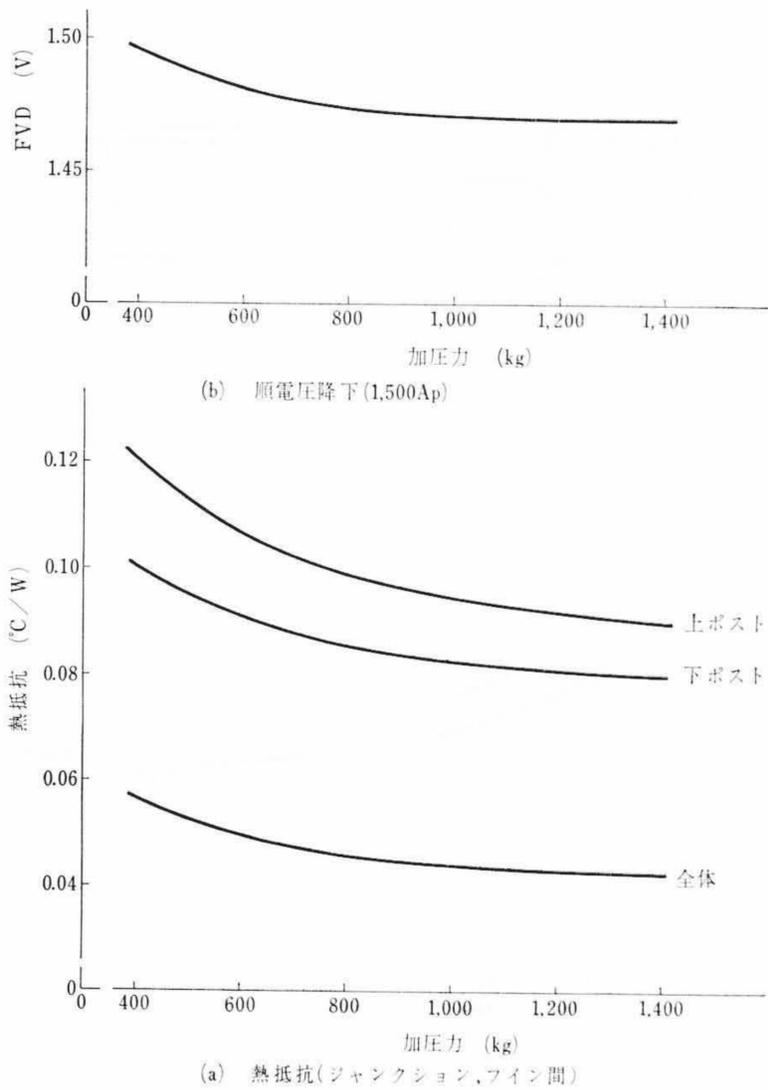


図7 加圧力と特性値

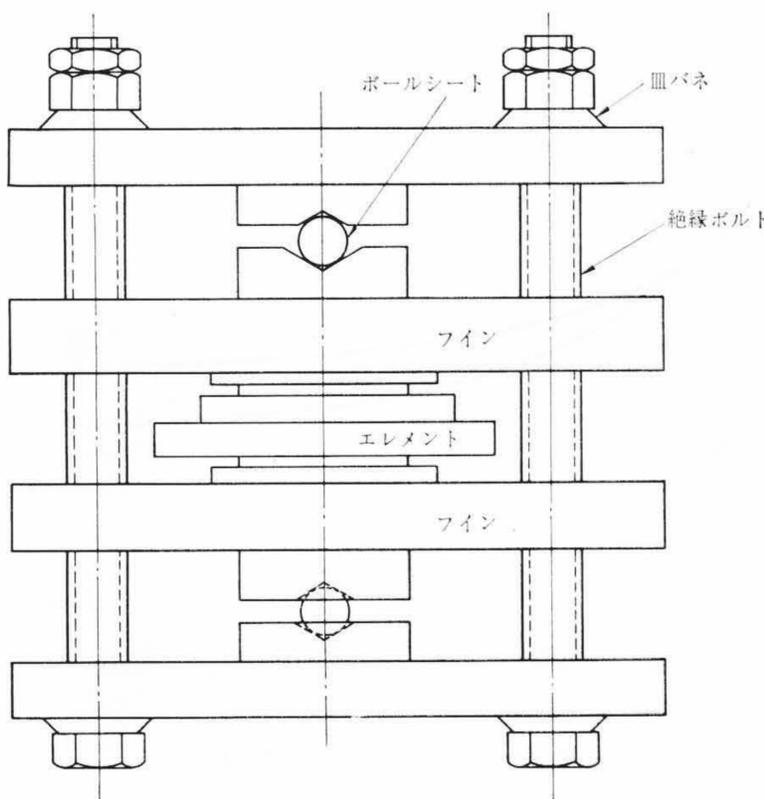


図8 F01 エレメント取付図

で長期間にわたり信頼性試験を行なった。

ジャンクションへの加圧力はたかだか 5kg/mm^2 でありユニットセルに使われるジャンクションの圧力による破壊は現在の平坦度の部品を使用する限り1けた高い値で生ずるものであり、実用上圧力自体による劣化のおそれはまったくない。また加圧によるジャンクションの順、逆特性にはなんら変化はなく、連続通電試験、間欠通電試験、高温逆電圧印加試験、高温放置試験、冷熱サイクル試験、振動試験、衝撃試験などの試験に不良はまったく発生しなかった。

電流容量の増大につれて熱サイクルに対する寿命は大きな問題で

表1 F01 定格および特性

形式	F01CF	F01DA
規格条項	CES形名	
定格せん頭逆耐電圧 (V) peak	2,500	3,000
定格過渡せん頭逆耐電圧 (V) peak	2,800	3,300
定格平均順電流 (A) ave	500 (单相半波 180° 通流)	
定格瞬時過電流 (A) peak	10,000 (10 ms 通流, 正弦半波1サイクル)	
$I^2 t$ 限界値 ($\text{A}^2 \cdot \text{s}$)	500,000 (時間: 2~10 ms)	
最大順電圧降下 (V) peak	1.65 (单相半波せん頭値 1,500 A, 通流角 180° , $T_j: +25^\circ\text{C}$)	
動作接合温度 ($^\circ\text{C}$)	-40~+150	
保管温度 ($^\circ\text{C}$)	-40~+150	
接合冷却体間熱抵抗 ($^\circ\text{C}/\text{W}$)	0.05	
加圧荷重 (kg)	1,000	
重量 (g)	200	

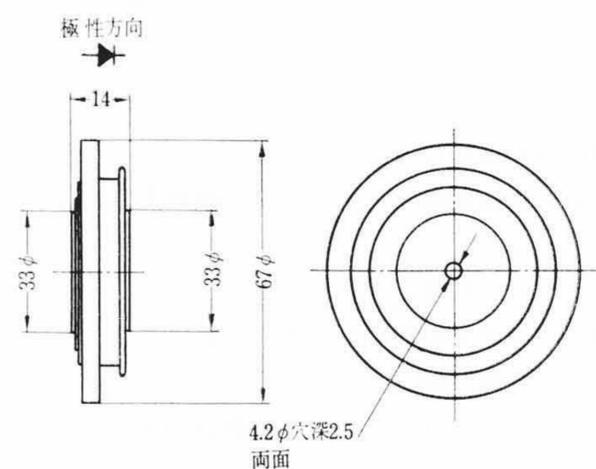


図9 F01 形外形寸法図

あり、この点特に構造上について種々検討を加え、入念に試験もした。試験結果よりユニットセルは大容量化にもかかわらず従来のスタッド形に比べてまさるとも劣らない特性を確認した。

電力用の素子は従来不良率 $10^{-8} \sim 10^{-9}/\text{h}$ の運転実績を有しているが各種信頼度試験の結果から考えてユニットセルもこの程度の信頼性を保持することが期待される。

3. ユニットセル形シリコン整流素子

3.1 F01 の特性および寸法

代表特性を表1に、外形を図9に示す。この素子はスタッド形では H03 相当のジャンクションを有している。

3.2 C01 の特性および寸法

代表特性を表2に、外形を図10に示す。この素子は逆耐電圧を 2,500V に設計し、順電圧降下、熱抵抗、過電流耐量を F01 よりいっそう良好ならしめるように作られている。

4. ユニットセル形シリコン制御整流素子

4.1 CH03 の特性および寸法

おもな定格および特性については表3に、外形を図11に示す。ユニットセルの低熱抵抗を生かして大電流容量サイリスタとして設計されている。

4.2 その他のサイリスタ

サイリスタはSRに比較して接合構造上から発生熱損失が大きく、また特性上定格接合温度が一般に低くおさえられている。したがってサイリスタの大電流容量化はSRに比べて困難である。しかしユニットセル構造にして熱抵抗を低下すればスタッド形構造の場合よりも1.6~2.3倍程度電流容量をのぼすことが可能である。

ユニットセル構造の場合リード線がなくなるゆえ許容電流は接合

表2 C01 定格および特性

形式	C01
規格条項	CES形名
定格せん頭逆耐電圧 (V) peak	2,500
定格過渡せん頭逆耐電圧 (V) peak	2,800
定格平均順電流 (A) ave	800 (単相半波 180° 通流)
定格瞬時過電流 (A) peak	13,000 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)
$I^2 t$ 限界値 (A ² ·s)	840,000 (時間: 2~10 ms)
最大順電圧降下 (V) peak	(単相半波せん頭値 1,500A, 通流角 180°, T_j : +25°C)
動作接合温度 (°C)	-40~+150
保管温度 (°C)	-40~+150
接合冷却体間熱抵抗 (°C/W)	0.04
加圧荷重 (kg)	1,500
重量 (g)	220

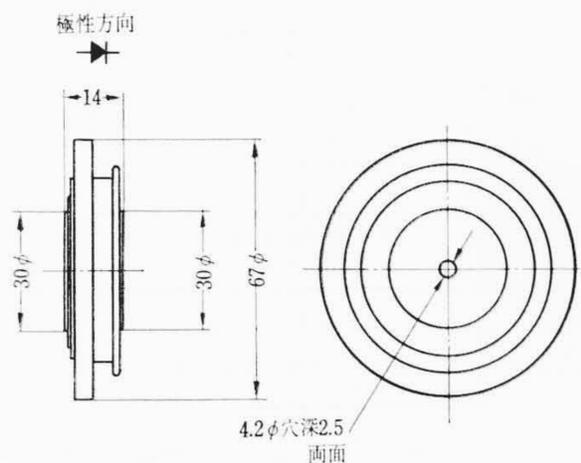


図10 C01 形外形寸法図

温度および接合温度差が許容されるかぎり流すことができる。この点繰り返し可能な過負荷耐量が増加し、利用範囲が拡大される。

5. 結 言

現在、GE社ではユニットセル構造の大容量素子として、SRでは6RW60(600A, 2,600V), サイリスタでは6RW54(550A, 1,800V)が量産されている。日立製作所ではSRでF01(500A, 3,000V)サイリスタでCH03(400A, 2,500V)が量産されており、すでに電鉄用電源装置などにて順調に運転中である。これら素子は世界の水準を抜くものといってさしつかえないであろう。

原料面での最近の進歩とあいまってさらに大容量あるいは高速度の素子がユニットセル構造により実現する日も遠くないと思われる。今後の電力用素子の進歩はこのユニットセル構造によりおし進められるであろう。

表3 CH03 定格および特性

形式	CH03R	CH03CA	CH03CD	CH03CF
規格条項	CES形名			
定格せん頭逆耐電圧 (V) peak	1,800	2,000	2,300	2,500
定格せん頭過渡逆耐電圧 (V) peak	1,950	2,200	2,550	2,750
定格せん頭順阻止電圧 (V) peak	1,800	2,000	2,300	2,500
定格平均順電流 (A) ave	400 (単相半波 180° 通流, T_B : -40~+75°C, 抵抗負荷)			
定格瞬時過電流 (A) peak	7,000 (10 ms 通流, 正弦半波 1 サイクル)			
$I^2 t$ 限界値 (A ² ·s)	184,000 (時間: 2~10 ms, I : RMS値)			
最大順電圧降下 (V) peak	2.3 (単相半波せん頭値 1,000A, 通流角 180°)			
定格せん頭ゲート入力 (W) peak	20			
定格平均ゲート入力 (W) ave	4			
定格せん頭ゲート電圧 (V) peak	順方向: 20, 逆方向: 5			
定格せん頭ゲート電流 (A) peak	4			
最小ゲートトリガ電圧 (V) D.C	4 (T_j : 25°C, AK間順電圧 6V D.C)			
最大ゲート非トリガ電圧 (V) D.C	0.1 (T_j : -40~+125°C, AK間順電圧 6V D.C)			
最小ゲートトリガ電流 (mA) D.C	300 (T_j : 25°C, AK間順電圧 6V D.C)			
最大ゲート非トリガ電流 (mA) D.C	1.5 (T_j : -40~+125°C, AK間順電圧 6V D.C)			
動作接合温度 (°C)	-40~+125			
保管温度 (°C)	-40~+125			
接合冷却体間熱抵抗 (°C/W)	0.05			
最大加圧荷重 (kg)	1,000			
重量 (g)	230			

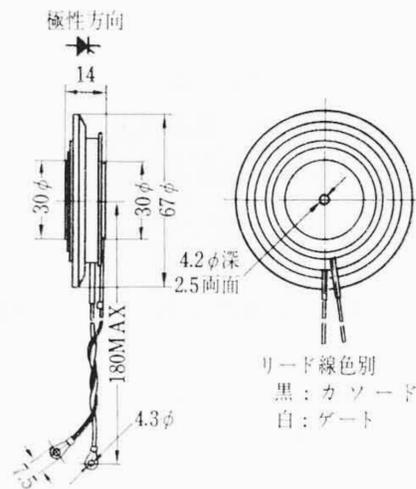


図11 CH03 形外形寸法図

参 考 文 献

- (1) 佐々木, 長谷: 日立評論 48, 367 (昭41-3)
- (2) 和島, 小川, 岩田: 日立評論 48, 1199 (昭41-10)
- (3) W. Warburton et al: IEEE Trans. on Industry and General Applications Vol. 10A-2, No. 6, 476 (昭41-11/12)