

# 電力用半導体素子の開発から撤退まで

## 黎明期

近代産業発展の最重要要素である半導体素子は、1948（昭和23）年、米国・ベル研究所のショックレイ・グループにより発明されたとされている。日本では1955年、東京通信工業（現 ソニー）が米国に遅れること1年でトランジスタ・ラジオの商品化に成功した。

当社では、1957年に鉄道車両用としてはわが国初のトランジスタ式充電装置を当時の国鉄電車用に多数納入し、1960年には阪急電鉄の回生ブレーキ付き電車（2300形）にゲルマニウム・トランジスタを全面採用、車両用制御装置のエレクトロニクス化に先鞭を付けた。

半導体素子は、これら民生・制御分野だけでなく、当社が得意とする電動機・電力の分野でも将来の主要部品となるであろうことが予想されていた。そこで、当社は1959年、技術研究所内に整流器研究室を新設し、電力用シリコン整流器の自社生産を目指すこととした。まずは、入社したての若手技術者を東北大学・西澤研究室（後の財団法人半導体研究振興会、2008年3月解散）などに順次派遣し、基礎技術を習得させた。

最初に作られたダイオードは、静止形レオナード装置に組み込まれたが、逆回復時のサージ電圧による自己破壊が頻発した。これを解決するため、1963年にはアバランシェ特性をもたせたソフト・リカバリなpin（p-intrinsic-n）ダイオードを開発・商品化し、1965年に相模鉄道の変電所にシリコン整流装置（8,000kW）を納入、好評を博した。

一方、ダイオードから一歩進んだサイリスタ（制御整流素子）が1956年、米国GE社（General Electric Company）より商品化され、その後、改良と応用が重ねられた。当社では1965年、すでに自社製静止形レオナードにサイリスタを組み込むまでに至っていたが、さらに独自の技術によって高速・高耐圧化に成功し、1966年にわが国初の電車で用いた静止形補助電源装置（SIV）を開発（チョップパインバータ形）した。なお、これは戸塚工場に展示した。また、1967年には車両用主回路チョップパ装置を試作し、東京都交通局の浅草線で現車試験を行ったほか、直接形SIVを試作して阪急電鉄で現車試験を行った。その結果、1968年に東京都交通局地下鉄から48セット（素子定格1,700V/50A・装置入力1,500V・出力12kVA）の、大阪市交通局からも23セット（素子同上・装置出力7.5kVA）のSIVを受注した。

産業分野では、同年に当社初のUPS / CVCF（素子定格1,200V/150A・



初期に製造されたダイオード

単機出力100kVA・総合出力600kVA）の開発に成功し、三和銀行（現三菱UFJ銀行）に納入した。これより1980年までの期間に、上記の他、600～3000V/50～800Aのダイオード、600～1,700V/50～300Aのサイリスタなどを新たに開発し、これら電力用半導体群は当社の車両用・産業用装置の発展に大きく寄与することとなった。

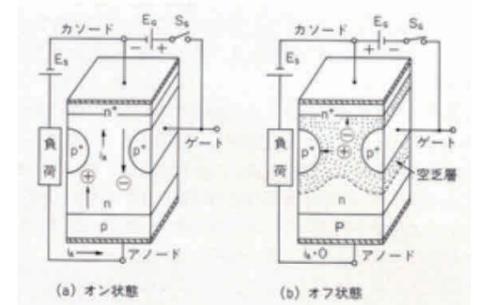
## 車両用VVVFインバータへの対応

ヨーロッパで産声を上げた鉄道車両用VVVFインバータ（可変電圧・可変周波数変換装置）による車両駆動技術は、わが国の電鉄界にも衝撃を与え、同業各社は競って大容量VVVF用半導体素子の開発に着手した。わが国では、当面は開発済みの電力用サイリスタをチョップパ制御装置用に流用するのが手っ取り早い手段であった。当社でも、他社から購入したサイリスタを用いたVVVFで1980年に現車試験を行ったが、素子の自社開発の必要性を実感し、同年、すでに製作していた素子の製造をすべて中止、VVVF用逆導通サイリスタ（2,500V/500A/500A、初めて60mmウェーファを使用）の開発に全力で取り組むこととした。その結果、1982年には自社製サイリスタを組み込んだVVVFインバータを用い、相模鉄道および阪急電鉄での現車試験を行うに至った。

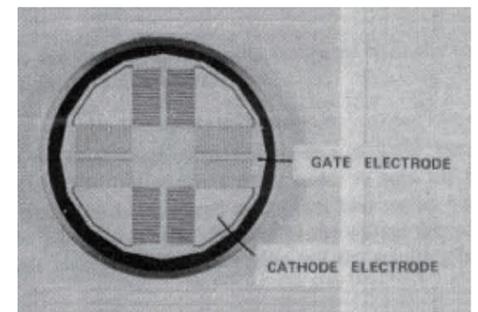
## SIサイリスタの開発

1977年春、当社の半導体研究を初期から指導していただいていた西澤潤一教授（後の半導体研究振興会理事）より、新たな原理による素子としてSIサイリスタの商品化が提案された。しかし、当時はまだ車両用チョップパやVVVFに用いる大容量サイリスタは開発準備中であったため、当社としてもすぐには対応できなかったが、独自の素子をもつ必要性も感じていた。そこで1978年、半導体研究振興会に研究員を派遣し、SIサイリスタの研究に着手することとした。

1979年、まずは600V/5Aのパイロット素子の試作に成功し、続いて1200V/5A素子の試作にも成功した。SIサイリスタとは、半導体基板内部に埋め込まれたゲートの電位変化によりアノードからカソードへと流れる主電流を素早く制御するパワー半導体素子であり、微細ピッチで配列される低抵抗ゲート層横に主電流通電経路となる高抵抗チャネル構造を気相成長（エピタキシャル成長）技術により、埋め込み形成するという難しい工程が必要であった。原理上は、高電圧・大電流を少ないスイッチング損失で閉鎖することができ、大きな電圧変化率 $dV/dt$ や電流変化率 $dI/dt$ にも耐え得る優れた特性を有する素子と考えられた。



SIサイリスタの動作原理図



試作SIサイリスタの十字形パターン

この時期、業界では車両用VVVF用の素子としてGTO (Gate Turn-Off) サイリスタ素子の実用化が目前に迫っていて、これに対抗するために、当社では1982年1月、当社独自の素子としてSIサイリスタの開発を決断し、技術員を自社に戻して開発に邁進することとした。

1983年、相模工場の隣接地区に新・技術研究所を新設し、戸塚工場の旧・技術研究所より半導体製造設備を移転した。さらに1984年、この部門を半導体本部へと昇格させ、1985年～1986年にはクリーン・ルームなど当時の最新設備も導入、近代的な電力用半導体開発体制を整えた。

## 東洋セミコンの設立と解散

その後の研究においては、難しい工程に伴う種々の難関よりも素子設計上の改良が思うように進展せず、一方でSIサイリスタの知名度を高め、販路を開拓する必要性にも迫られた。そこで1986年10月、この部門を分社化し東洋セミコン(株)を発足、素子開発・製造に加えて応用技術の開発にも着手できる体制を整えた。開発は、車両用の2500Vやそれ以上の高耐圧素子よりも、すでに開発済みの1200V級素子 (TSI802-12・1,200V/300A・素子直径30φ) の応用面開発と販路開拓に注力し、その結果、誘導加熱用高周波インバータ、配電・受電系統向けアクティブ・フィルタ、直流送電用高性能変換器、レーザ発振装置用電源など、多くの用途を見出すことができた。しかし、需要量の予測は難しく、不十分な素子性能や、それに伴うコストの問題、さらには素子自体の安定した生産技術が確立できなかったことから、親会社の業績に貢献するまでには至らなかった。

結局、1989年に東洋セミコンを解散し、技術研究所は半導体センター (後の半導体研究室) と名称を改め、引き続き素子の安定した製造技術を模索しつつも、車両用高圧素子や高圧パルス電源など、採算性が期待できそうな用途に特化した素子開発へと転換した。

## 車両用高圧素子開発のゆくえ

研究を継続するなかで、最終的には、現有の製造設備上可能な3"ウェーファから取れる最大の素子の直径を62φとし、車両用に最低限必要な電流容量を確保した。次にパターンの微細化を進め、動作の高速化とスイッチング損失の低減を図ることで、対抗素子として成長してきたIGBTに勝る性能を実現するまでに至った。また、フライホイール・ダイオードを同一ペレット外周に配置する逆導通形型とし、使いやすい改良を施した。さらに、従来のタングステン板にペレットをロウ付けする合金形から合金フリー形へと変更し、

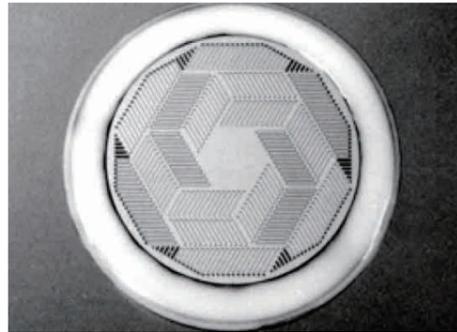
工程の安定化も図った。

こうした大改良の結果、車両用SIVおよび中容量のVVVFに適用可能なRT103シリーズ (4,000V/600A) と、さまざまな高圧パルス用電源に応用可能なRT201 (5500V/600A) が完成し、1998年10月までに、いずれも社内の試作製品や社外の試験装置に組み込んで評価試験が行われた。素子の特性を活かした独自の210kVAソフトスイッチング式SIVインバータの実車評価と、レーザ等用小型大出力パルス電源の実証は特筆すべき成果として挙げられる。しかし、前者の実採用のための事前試験納期への遅れが生じたことや、当時の製造設備能力では、素子の恒常的な安定化を目指すには不安が残り、そのため次の課題であるゲート電極の絶縁化や、4"ウェーファへの移行へと着手するには至らなかった。

## 半導体研究活動からの撤退

1986年～1991年までの、いわゆる「バブル時代」、当社は経営上で多くの問題事業を抱えていた。半導体研究部門もその一つであり、1991年から始まったバブル崩壊がこれに拍車をかけることとなった。その他の不採算部門とは異なり、半導体研究活動はほとんどが研究開発費の投入一方であったため、当然のことながら整理の対象となり、1997年12月に正式撤退が決まった。SIサイリスタの研究・開発に投入された費用は、約15年間で累計およそ55億円にも達した。

その後、当社が保有するSIサイリスタの関連特許やノウハウは国内某メーカーに譲渡され、その研究・開発が引継がれることとなった。これにより、SIサイリスタという独創的な発想を具現化する可能性は他社に託され、発足以来40年間に及んだ当社の半導体開発活動は、1998年11月をもって幕を閉じた。



SIサイリスタの30φ六角形パターン



SIサイリスタ (30φ) の完成品外観



SIサイリスタの62φV字放射形パターン



SIサイリスタ (62φ) の完成品外観