논단 II

# 전력용반도체 국내외 현황

한국전기연구소 전기재료연구부
선임연구원 민 원 기

## 1. 전력용반도체 역사

현대를 살아가는 우리는 우리의 의지와 관계없이 정보화 시대를 살고 있다. 모든 정보는 데이터베이스화로 공유되고 디지탈 형태의 정보로 컴퓨터 통신망을 통해 모든 가입자가 접근할 수 있다. 이러한 환경을 실현할 수 있었던 것은 약 반세기 전, 즉 1947년에 발명된 트랜지스터와 1958년에 출현한 IC에 힘입은 바가 크다. 실리콘을 모체로 한 반도체 산업은 인체에 비교하면 두뇌 및 신경계통에 해당하는 것으로 정보처리를 위한 하드웨어 구현을 위해 일관되게 매진하여 왔다.

이와 같은 정보화 시스템을 구성하는 요소로 지능과 신경계통 이외에 인체의 근육에 해당하는 전력과 에너지를 제어하기 위한 반도체가 필요하다. 전력용반도체는 이러한 용도로 필수불가결한 요소이다. 전력용반도체는 정보화 기기 이외에도 우리 주변 가까이에서 쉽게 찾을 수 있다. 전력용반도체의 대표적인 응용분야인 전원공급장치와 전력변환시스템은 전력계통, 철도차량, 자동차, 통신, 우주항공, 의료기기, 가전제품과 같은 완성품 내에 자리잡고 있다.

반도체에 의한 전력전자회로는 정류다이오드의 출현으로 그 전기를 마련하였다. 세기 초에 이미 제너럴 일렉트릭에서는 발전소를 건설하여 송전을 시작하였고 전기분해와 같이 직류를 필요로 하는 일부 부하에 전력을 공급하기 위해 수은정류기가 사용되던 시절에 2극 진공관, 3극 진공관에 의해 전자회로시대를 열어가고 있었다. 역시 1900년초에 Bell이 무선통신을 이용한 전화를 발명, 사업화하여 그 이익금을 연구개발에 투자하였고 2차대전이 끝난 후에도 라디오, 무선통신기기, 레이다, 심지어 컴퓨터에 이르기까지 진공관이 널리 사용되었다. 진공관 시대에도 전원장치는 다양한 종류의 부하에 전력을 공급하기 위해 필수적이었는데 산업용 전원장치에는 수은정류기가, 전자회로의 전원장치에는 2극 진공관이 사용되었다. 그러나 전력소모가 많고 무거우며 부피가 큰 진공관이 컴퓨터에 사용되면서 여러 문제점을 보이기 시작하였다. 논리회로를 구성하는 단위소자로 사용되는 진공관은 그 수에 있어서 지금까지 다른 어떠한 회

로에서 보다 많은 수의 진공관이 필요하게 되었고 진공관의 특성상 열전자를 방출하도록 되어있는 필라멘트와 전극으로 사용되는 금속재료의 열화로 인해 수명에 한계가 있어 컴퓨터 운전을 위해서는 간단없는 유지보수가 뒤따라야 했다. 1930년대에 이미 금속과 반도체 접합간에 정류작용을 하는 특성을 발견한 고체 물리학자들은 반도체 재료가 전자회로에 사용될 수 있을 것으로 간파하고 이 분야에 매진하기 시작하였다. Bell 연구소의 과학자들은 1945년에 트랜지스터를 발명하고 이어 1957년에는 pnpn구조의 사이리스터 구조를 발표하였다. 본인들은 이들 반도체소자가 어떠한 용도로 사용될 것인지에 대한 구체적인 개념이 없었지만 이미 진공관을 사용하여 라디오 수신기를 제작하던 제너럴 일렉트릭과 웨스팅하우스의 엔지니어들은 트랜지스터로 3극 진공관을 대체하는 회로를 고안하게 되었다. 트랜지스터 발명 당시의 제작방법은 점접촉(point contact)에 의한 접합기술에 의존하였기 때문에 강한 전계가 접합부위에 형성되는 고전압이 인가되는 전력용으로서의 사용은 고려되지 못하였다. 1950년대에 확산법에 의해 p-n 접합을 형성하는 기술의 출현으로 p-i-n구조의 새로운 고압다이오드와 pnpn구조의 사이리스터를 1958년도에 제너럴 일렉트릭에서 제품화하여 전력전자의 새로운 장을 열게 되었다. 이후 수은정류기는 고전압 다이오드로 대체되었고 위상각 제어가 가능한 사이리스터는 SCR이라는 상품명으로 1970년대까지 전력제어회로에 스위칭소자로 독보적으로 사용되었다. 트랜지스터 역시 에미터 형태를 변환하여 전력증폭기와 스위칭소자로 사용되는 전력용 트랜지스터가 1970년대부터 본격적으로 사용되면서 사이리스터의 사용주파수보다 높은 고주파 스위칭회로에 주요 소자로 자리잡았다.

MOS구조가 반도체소자 제조에 처음 소개된 것은 1959년이었고 다수의 MOSFET을 동일 실리콘상에서 공정하여 회로를 구성한 직접회로 특허를 텍사스 인스트루먼트사가 취득한 것이 1960년대 말이었다. 직접회로, 즉 IC에서 표준소자가 된 MOS를 전력용반도체에 최초로 도입한 것은 VMOS로 실리콘 표면에 V자 홈을 파고 홈 표면에 게이트 산화물을 형성시킨 것이었다. 원래 VMOS는 1973년에 포토작업시 정렬을 용이하게 하고 채널길이를 최소화 하기 위한 IC용으로 개발되었던 것으로 전력용으로는 문제가 많아 DMOS 구조를 갖는 MOSFET의 출현과 함께 사라졌다. 전력용 MOSFET은 바이폴라 트랜지스터와 비교하여 스위칭속도가 빠르고 게이트구동이 용이하며 2차 절연파괴 현상이 없다는 점에서 저전압 고속스위칭회로의 대표적인 전력용반도체 소자로 자리잡았다. 1983년에 바이폴라 트랜지스터와 MOSFET을 결합한 IGBT를 제너럴 일렉트릭에서 개발하여 SCR 이후에 가장 상업적으로 성공한 소자가 탄생하였다. IGBT는 바이폴라 트랜지스터와 MOSFET의 장점을 모두 취하여 만능의 소자로 인정받고 있고 개발 후 현재까지 미국뿐 아니라 일본 업체에서도 꾸준히 제품성능 향상에 힘 쓴 결과 사용전압과 동작주파수 범위가 넓어져서 바이폴라 트랜지스터와 MOSFET 등 타 소자의 입자를 위협하고 있다.

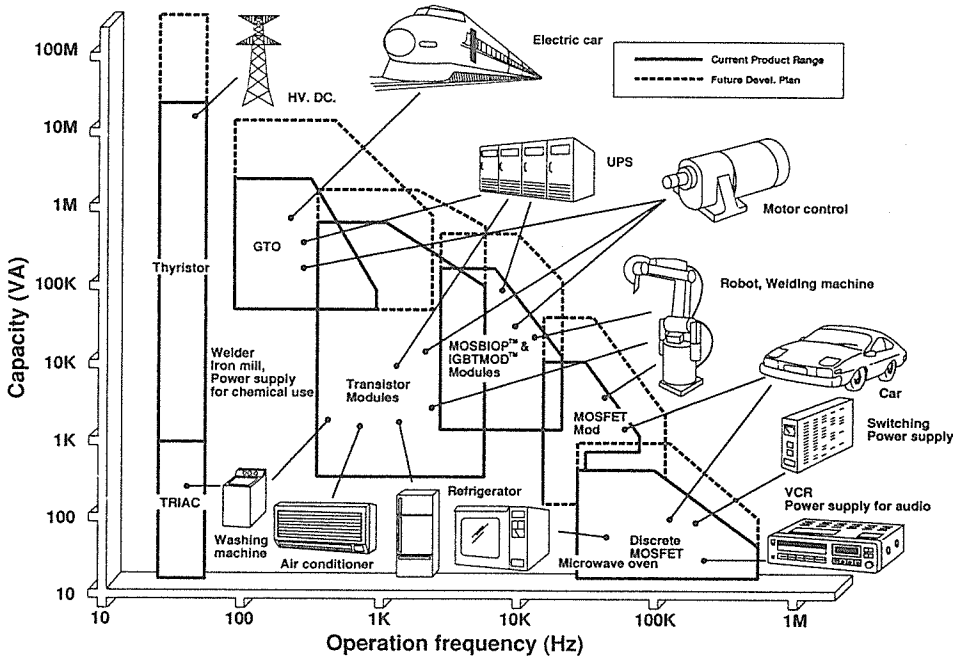
사이리스터는 처음 개발된 1958년 이후로 그 기본구조의 변화없이 지금까지도 HVDC송전과 같은 전력변환분야에 꾸준히 사용되어 오고 있는 고전적인 전력용소자이다. 1980년대말 부터 전통적인 사이리스터구조에 MOS게이트를 추가하여 사이리스터 또는 GTO의 특성을 개선하고자 하는 연구가 성과를 얻게 되었다. 해리스 반도체사에서

개발한 MCT(MOS Controlled Thyristor)는 최초로 상용화된 MOS 구동형 사이리스터로 600V/100A 이내의 정격으로 생산되며 사이리스터 기준으로 보면 소용량이지만 전압과 전류정격을 증대하는 연구가 업체를 중심으로 진행중이다. MCT는 아직 FBSOA와 같은 문제로 인해 본격적으로 인버터 회로에 사용되고 있지 않지만 일부 소프트 스위칭회로에 시험적으로 사용되고 있다. MOS구동형 사이리스터는 MCT 이외에도 Base Resistance controlled Thyritor(BRT), Emitter Switched Thyristor(EST)와 같은 상품화가 되지 않은 후보들이 있으며 이들 소자도 특성개선이나 시장여건에 의해서 상품화 가능성이 얼마든지 있다고 전망된다.

CMOS공정에 의한 VLSI 제조기술 발전에 편승하여 MOSFET을 전력용으로 사용하게 되면서 현재의 전력용반도체 시장에서 MOSFET과 IGBT가 주역으로 활약하고 있다. 이들 소자는 간편한 게이트 구동, 우수한 열적특성, 과전압, 과전류에 대한 보호용이, 안정한 동작특성으로 대표되는 장점이 응용회로를 디자인하는 엔지니어들의 관심을 끌고 있다. 앞으로도 이들 소자의 수요는 지속적으로 성장할 것으로 예상되고 있으며 이 소자를 기본으로 하는 지능형 전력용반도체 모듈의 수요도 증폭할 것으로 예상된다.

## 2. 전력용반도체 종류 및 분류

전력용반도체의 분류는 기술적으로 3가지 방법이 있다. 즉 V. Temple에 의한 접합수에 의한 분류, P. L. Hower에 의한 캐리어수에 의한 방법, 그리고 단자수에 의한 분류가 그것이다. 이러한




(그림 1) Applications of power devices.(Courtesy of Powerex, Inc.)

분류방법중 접합수에 의한 분류방법에 의하면 p-n 다이오드는 1접합소자로, 바이폴라 트랜지스터는 2접합, 사이리스터는 3접합 소자로 각각 분류되며 MOS구조에서 반도체표면에 형성되는 채널로 전류가 도통되는 MOSFET은 내부에 p-n접합이 존재하지만 이 접합이 전류통전에는 관여하지 않기 때문에 영접합 소자로 분류된다. 반면 캐리어 수에 의한 분류방식에 의하면 p-n 다이오드와 바이폴라 트랜지스터, 사이리스터는 전자와 정공 두 캐리어가 모두 전류의 구성원이 되어 2캐리어 소자로 같은 분류로 취급되며 MOSFET, JFET과 같이 전자 또는 정공 한가지만이 전류구성원이 되는 소자는 1 캐리어소자로 분류된다. 마지막으로 단자수에 의한 분류방법에 의하면 다이오드와 같이 단자수가 2개인 경우는 2단자 소자로, 트랜지스터와 같이 단자수가 3개인 소자는 종류에 관계없이 모두 3단자 소자로 분류된다. 이와 같이 소자의 종류는 분류방법에 따라 달라진다. 여기서는 이러한 기술적인 분류방법이 아니고 기능적으로 연관성 있는 전력용반도체를 묶어 그 종류를 소개하고자 한다. (그림 1)은 전력용반도체 소자의 종류별 용도를 보여준다.

### 2.1 다이오드

전력용으로 사용된 다이오드는 흔히 정류 다이오드라고 할 정도로 정류용으로 사용되는 경우가 많다. 통상 정류 다이오드의 경우 p-i-n 구조를 가지며 상용주파수인 60Hz를 정류하기 때문에 다이오드의 주파수특성, 즉 스위칭시간 개선을 위한 life-time 제어를 하지 않고 제작한다. 그러나 DC-DC 또는 DC-AC 콘버터에 사용되는 다이오드는 보통 회복시간을 5us 이내로 제어하기 위해 금이나 백금을 확산시켜 제작한다. Schottky 다이오드는 100V 이내의 전압에서 고속스위칭하는 용도로 사용되는데 금속과 반도체간의 전위장벽을 이용한 것으로 다이오드전류가 majority carrier로만 이루어져 있기 때문에 p-n접합 다이오드와 달리 소수캐리어 소멸시간에 의한 회복시간이 거의 제로에 가깝다. 그러나 고전압이 역방향으로 인가될 경우 누설전류가 p-n접합 다이오드에 비해 크고 순방향전류 통전시에는 전압강하가 크기 때문에 저압회로에만 사용된다. 최근에는 p-n접합 다이오드와 Schottky 다이오드를 결합하여 만든 MPS(Merged p-i-n and Schottky) 다이오드가 개발되어 600V급에서 스위칭속도와 회복전류를 최소화 하였다.

전력용 다이오드는 크램핑회로, 부스터회로 등에도 필수적으로 사용되며 역전압 방지용이나 정전압회로 등 그 사용빈도가 다른 어떠한 전력용반도체 소자보다 많다.

〈표 1〉 다이오드의 종류와 특성

| 종 류 | 전압/전류정격 | 사용주파수(Hz) | 스위칭 시간($\mu s$) | 온-저항($\Omega$) |
|---|---|---|---|---|
| 범 용 다 이 오 드 | 5000V/5000A | 1k | 100 | 0.16m |
| 고 속 다 이 오 드 | 3000V/1000A | 10k | 2-5 | 1m |
| Schottky 다 이 오 드 | 40V/60A | 20k | 0.23 | 10m |
| MPS 다 이 오 드 | 600V/50A | 20k | 0.5 | 0.2m |

## 2.2 트랜지스터

트랜지스터의 어원은 Transfer Resistor로 이 두 단어를 합성하여 만든 것이며 3극 진공관의 역할을 하는 반도체소자로써 그 의미가 있었다. 트랜지스터의 동작은 전기적으로 포화영역과 활성영역으로 구분되는데 3극 진공관과 같이 증폭작용은 포화영역, 논리회로에서와 같이 스위칭 작용은 활성화 영역에서 동작시킴으로서 가능하였다. 초기의 트랜지스터는 바이폴라 트랜지스터를 지칭하는 용어였는데 전계효과형 트랜지스터의 등장으로 그 용어 구사에 변화가 생겼다. 지금은 전계효과형 트랜지스터의 종류만도 JFET, MOSFET, SIT, IGBT를 비롯하여 수많은 종류의 트랜지스터가 있고 또 새로운 형태의 트랜지스터가 개발중에 있다. 전력용으로 사용되는 대부분의 트랜지스터는 증폭작용보다는 대부분의 경우 스위칭을 목적으로 사용된다.

바이폴라 트랜지스터는 전류이득을 높이기 위해 다링톤형태로 사용되기도 하며 이때 전류증폭율은 100－1000정도로 높으나 포화전압 역시 높고 턴－오프 시간이 단일형에 비해 길어지는 단점이 있다. 즉 다링톤형의 바이폴라 트랜지스터는 고전압, 대전류형으로 제작이 용이하나 고속 스위칭에는 사용하지 않는다. 현재까지 단일형은 400V, 다링톤형은 1200V급의 전력용 바이폴라 트랜지스터가 실용화 되어 있으며 이들 바이폴라 트랜지스터는 트랜지스터 시장의 32%를 점유하여 27%의 MOSFET과 함께 트랜지스터 시장을 양분하고 있다. 그러나 게이트 구동, thermal runaway, 직병렬운전 불가와 같은 바이폴라 트랜지스터의 고유한 문제점들 때문에 인버터회로에는 MOSFET가 IGBT와 같은 대체소자에 주도권을 넘겨주는 현실이 되었다.

전계효과형 트랜지스터, 소위 FET(Field Effect Transistor)는 JFET(Junction Field Effect Transistor)의 형태로 1924년에 최초로 미국과 카나다에 특허출원이 기록되어 있다. 전력용으로는 SIT(Static Induction Transistor)라는 이름으로 일본에서 1970년대 후반부터 개발되었는데 JFET 계열의 소자는 normally-on(Depletion mode), 즉 게이트 전압이 없는 경우에 턴－온, 게이트 전압을 인가하여 턴－오프 되기 때문에 전력용소자로는 특별한 경우가 아니면 사용되지 않는다. SIT의 경우 역시 주로 일본에서 사용되고 있으며 대표적인 사용처는 유도가열장치의 전원회로, 마이크로 웨이브 증폭기, 오디오 등이다. 1200V, 300A용량이 실용화 되었고 100kHz 내외의 고주파 고전압 소전류 응용분야에 적합하다. SIT의 스위칭 특성과 온저항은 MOSFET과 대동소이하다.

개별소자 또는 지능형 전력용 모듈로 사용량이 가장 많은 전계효과 트랜지스터는 MOSFET이다. 전력용은 작은 단위셀 형태의 MOSFET을 수천개에서 수만개를 병렬로 연결하여 큰 전류를 통전할 수 있도록 만들어진다. 대다수의 MOSFET은 DMOS공정으로 불리는 이중확산 방법에 의해 제작되고 있으며 온저항을 줄이기 위한 Trench 구조를 갖는 UMOSFET 형태가 있다. MOSFET의 개발과정은 온저항을 줄이는 과정으로도 볼 수 있다. 1980년대에 50V정격의 MOSFET의 온－저항을 7mΩ · cm²에서 1990년대에는 0.6mΩ · cm²로 줄였다. UMOS 셀구조로 JFET 성분저항을 제거하여 온저항을 줄이는 노력이 계속되었는데 실리코닉스는 온－저항이 0.5mΩ · cm²인 제품을 생산하고 있으며 Trench 공정의 도입으로 온저항

을 실리콘의 이론적인 저항치에 가까운 0.1mΩ · $cm^2$로까지 줄일 수 있다는 보고가 있다. 온저항을 줄이는 것과 병행하여 사용전압과 전류용량을 지속적으로 증대하여 1000V/50A 용량의 MOSFET가 개발되기에 이르렀다. MOSFET은 알려진 대로 입력 임피던스가 크고 누설전류가 nA 오더로 낮으며 전압구동이기 때문에 구동회로가 간단하고 구동회로 손실이 적다. 100kHz이내의 고주파 저전력회로가 주 사용처이며 냉장고, VTR 등의 가전제품, 스위칭전원장치, 자동차, 모터제어회로등에 다양하게 사용된다.

서두에서 언급한 것과 같이 IGBT는 최근 상업적으로 성공한 전력용반도체이다. MOSFET과 동일한 방식의 게이트 구동, 바이폴라 트랜지스터의 낮은 온저항을 실현한 이상적인 특성을 지닌 소자로 MOSFET과 바이폴라 트랜지스터를 결합한 모양을 하고 있다. 아직은 세계 트랜지스터 시장에서 약 4% 정도의 점유율을 보이고 있는 형편이지만 향후 시장증가를 확신하는 구미, 일본의 모든 반도체 제조업체에서 기술개발에 심혈을 기울이고 있다. IGBT의 공정은 MOSFET의 그것과 유사하지만 life-time 제어공정이 추가되고 래치업이 일어나지 않도록 설계해야 하는 등 MOSFET과는 또다른 기술이 요구된다. 접합수로 분류하면 무접합 소자에 해당하는 MOSFET은 바이폴라 트랜지스터의 2차 항복이나 IGBT의 래치업 현상이 없다. IGBT는 정상적인 동작에서는 p-n 접합을 통해 전류가 흐르지만 전류밀도 및 온도의 상승에 의해 $n^+$ 에미터와 $p^-$ 베이스, $n^-$층과 $p^+$ 콜렉터로 연결되는 npnp구조의 기생사이리스터가 래치업 될 수 있다. 이 경우 정상전류의 수십배에 해당하는 전류가 IGBT를 통해 흐르고 게이트에 의한 전류제어가 불가능하여 IGBT와는 별도의 외부회로에 의해 전류 차단이 되지 않는 한 소자의 파괴를 피할 수 없다. 대부분의 IGBT 제작은 DMOS 공정에 의해 이루어지고 있으나 소자의 유효면적당 통전가능한 전류밀도를 늘리고 래치업을 방지하기 위해 Trench구조의 UMOS게이트를 연구중이다.

IGBT 모듈의 경우 600V/400A, 1200V/300A 용량이 상품화 되어 나오고 최근 미쓰비시에서 3300V/200A 모듈을 샘플로 제작한 바 있다. IGBT는 단일 패키지와 모듈 패키지로 실장되며 MOSFET이 소비재에 사용빈도가 높은 반면 IGBT는 산업용 기기와 자동차, 전동차, 대형 무정전전원 등에 주로 사용된다.

〈표 2〉 트랜지스터의 종류와 특성

| | | 전압/전류정격 | 사용주파수(Hz) | 스위칭 시간(㎲) | 온-저항(Ω) |
|---|---|---|---|---|---|
| 바이폴라 | 단일형 | 400V/250A | 20k | 9 | 4m |
| | 다링톤형 | 1200V/400A | 10k | 30 | 10m |
| MOSFET | DMOSFET | 1200V/4.7A | 100k | 0.9 | 2 |
| | UMOSFET | 500V/50A | 100k | 0.6 | 0.4m |
| IGBT | IGBT(3세대) | 1200V/400A | 20k | 2.3 | 60m |
| | Trench IGBT | — | — | — | — |
| JFET | SIT | 1200V/300A | 100k | 0.55 | 1.2 |

## 2.3 사이리스터

1957년 사이리스터가 개발되면서 본격적인 전력용반도체의 새로운 장이 펼쳐지게 되었다. 사이리스터는 60Hz의 교류전류를 한 주기내에서 원하는 시간에 스위칭하는 방법으로 기계적인 스위치로는 불가능했던 유연한 전력제어가 가능해졌다. 3단자 소자로는 현재까지 나와있는 어떠한 전력용반도체소자보다 큰 용량으로 제작이 가능하며 최근 8000V/6000A 정격의 사이리스터가 등장했다. 기본구조는 pnpn으로 p-n접합이 3개가 직렬로 결합한 형태이다. 다른 3단자 소자와는 달리 일단 턴-온되면 지속적인 게이트 전류의 공급 없이도 통전상태를 유지하며 주회로에 역전류가 인가되면서 자연소호된다. 사이리스터를 턴-오프하기 위해서 소위 Commutation회로가 필요하고 이 회로로 LC 공진을 이용하여 강제로 사이리스터 전압 또는 전류가 어떤 순간에 영점이 되도록 하여 사이리스터를 턴-오프 시켰다. Commutation 회로는 사이리스터의 단점이라고도 할 수 있는 고유한 스위칭 특성 때문에 필요한 부가적인 회로였지만 이 회로에 대한 연구 개발활동의 결과로 여러형태의 LC회로에서 발생하는 과전압과 전류파형에 대한 분석이 가능해졌고 이것은 스위칭 조건에서의 DC 과도현상을 이해하는데 도움을 주었다. 이후 사이리스터는 HVDC용으로 광구동 사이리스터와 TRIAC등의 개량형이 선보였다. 사이리스터가 단독으로 직류전류를 스위칭할 수 없는 이유로 응용상에의 불편함을 해소하기 위해 외부 게이트전류를 주입하여 직류전류를 턴-오프할 수 있는 GTO(Gate Turn off) 사이리스터가 1966년에 발표되었다. GTO를 사용하면 당장 복잡한 Commutation회로가 생략되고 회로의 초크에서 발생하던 전기전자파와 잡음이 없어졌으며 빠르게 스위칭할 수 있기 때문에 콘버터의 효율을 높일 수 있게 되었다. MOS공정이 보편화되면서 1987년에는 사이리스터를 MOSFET 게이트로 구동하는 MCT (MOS Controlled Thyristor)가 개발되었다.

〈표 3〉 사이리스터 종류와 특성

| 구 분 | | | 전압/전류정격 | 사용주파수 (Hz) | 스위칭 시간 ($\mu s$) | 온-저항 ($\Omega$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사이리스터 | 전류구동형 | 역정지형 | 8000V/6000A | 1k | 200 | 0.25m |
| | | 고속스위칭형 | 1200V/1500A | 10k | 20 | 0.47m |
| | | 역도통형 | 2500V/100A | 5k | 40 | 2.1m |
| | | TRIAC | 1200V/300A | 400 | 200-400 | 3.57m |
| | 광구동형 | LTT | 6000V/1500A | 400 | 200-400 | 0.53m |
| 게이트소호 사이리스터 | 전류구동형 | GTO | 4500V/3000A | 10k | 15 | 2.5m |
| | 전압구동형 | MCT | 600V/60 | 20k | 2.2 | 18m |
| | | BRT | - | - | - | - |
| | | EST | - | - | - | - |
| | | SITH | 4000V/2200A | 20k | 6.5 | 5.75m |

MCT는 GTO와 같이 턴-오프와 턴-온이 가능하여 고주파동작이 가능할 뿐 아니라 전압으로 게이트구동을 하기 때문에 구동회로가 MOSFET이나 IGBT구동회로와 같이 간편해 지는 혁신적인 신소자로 인식되었다. 사이리스터와MOSFET을 조합한 MOS 구동형 사이리스터는 MCT 개발 이후에도 BRT(Base Resistance controlled Thyristor), EST(Emitter Switched Thyristor)와 같은 형태로 속속 개발되었지만 현 단계에서는 용량에 있어서 IGBT 정도에 머물고 있으며 종래의 GTO에 버금가는 용량의 소자는 아직까지 상품화되어 나오는 바 없다. MCT의 경우 4500V급이 제작된 바 있다. SITH(Static Induction Thyristor)는 사이리스터로 분류는 되지만 npnp와 같은 사이리스터 구조를 취하지 않고 SIT와 p-i-n 다이오드를 합쳐놓은 구조를 갖고 있다. 일본에서 유일하게 제작되며 일본이외에서 사용되는 경우가 거의 없다. 〈표 3〉과 같이 GTO에 비교하여 동작주파수는 약 2배, 온저항도 약 2배 정도이며 전압구동이라는 점에서는 MCT와 비교된다.

### 2.4 지능형 반도체 소자

전술한 전력용반도체 소자들은 개별소자로 분류되는 단순한 스위칭 기능만을 갖고 있다. 실제로 이러한 개별 전력용 반도체가 응용회로에 사용되기 위해서는 게이트구동회로, 센서를 포함한 과전류보호회로, 과열보호회로 등과 같은 보조회로의 도움이 필요하다. 이러한 종합적이고 지능적인 요소를 개별 전력소자와 더불어 한 패키지 또는 동일한 실리콘 웨이퍼상에서 결합시킨 형태의 소자를 지능형 전력용반도체 소자라고 하며 크게 IPM(Integrated Power Module)과 Smart Power IC 또는 HVIC로 구별된다. IPM은 MOSFET, IGBT, 바이폴라 트랜지스터, 다이오드와 같은 개별소자를 구동회로, 제어회로, 보호회로와 함께 하나의 패키지내에서 조립한 하이브리드형식의 모듈이다. 단일 칩상에 DMOS의 전력용반도체 소자와 제어회로를 동시에 공정하여 제작하는 스마트 파워 IC는 초기에 평판 디스플레이 구동용으로 개발되었고 전력용량이 증가하여 통신용 IC인 SLIC과

〈표 4〉 IPM과 스마트 파워 IC의 정격 및 용도

| | IPM | Smart Power IC | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 저압, 대전류 | 고압, 저전류 | 고압, 대전류 |
| 최대정격 | 1700V, 1000A | 50V, 20A | 50~500V, 100mA | 1200V, 1A |
| 사용분야 | ○공작, 조립기계, 자동차 철도차량<br>○고주파전류제어 | ○ECS시스템<br>○ABS제어<br>○프린터구동용 | ○디스플레이<br>○전자교환기 | ○가전제품<br>○형광등, 조명 |
| 용도 | ○인버터회로<br>○AC서보제어<br>○초퍼회로 | ○전장용 IC<br>○릴레이<br>○스텝모터구동 IC | ○LCD<br>○FED<br>○SLIC IC | ○인버터, 모터제어<br>○발라스트 |

형광등용 발라스트용이 그후 개발되었다. 현재의 스마트 파워 IC공정기술에 의하면 전력용량이 500V, 1A 이상이 되면 단일 칩에 스마트 회로를 구성하는 것이 제조단가에 있어서 IPM에 비해 비효율적이다. 따라서 〈표 4〉와 같이 IPM은 주로 전력용량이 큰 산업용 회로에 응용되고 스마트 파워 IC는 소용량의 가전, 컴퓨터, 조명, 자동차 릴레이 등에 사용된다.

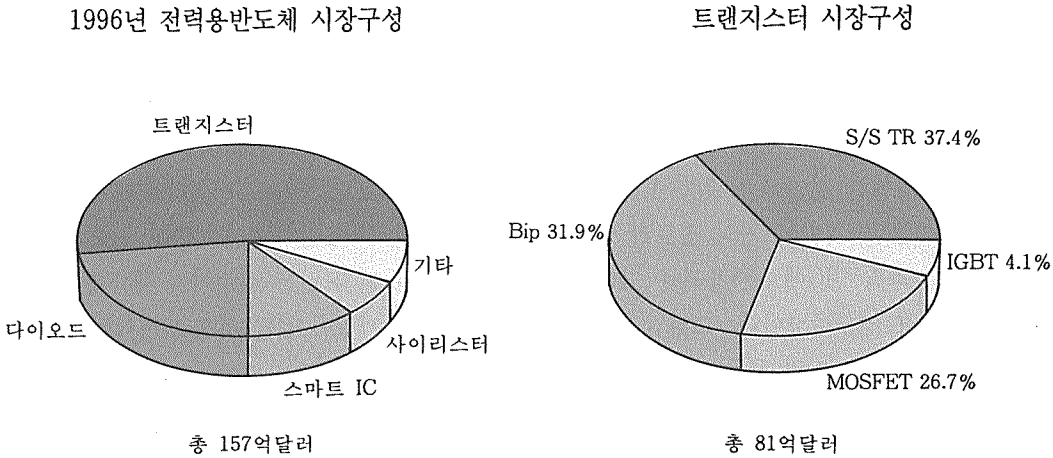
## 3. 국내외 현황

### 3.1 시장자료

국내의 전력용반도체의 품목별 시장규모는 특별히 조사된 바가 없고 WSTS에서 집계된 통계자료를 인용하면 1996년 현재 세계 전력용반도체 시장규모는 약 150억불이며 2000년대에는 230억불의 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 1996년도 전체 전력용반도체 시장은 (그림 2)와 같이 트랜지스터가 52%를 차지하여 가장 큰 점유율을 보이고 있고 다이오드가 23%로 그 뒤를 달리고 있다. 스마트 파워 IC는 14%로 전체시장 점유율은 개별 반도체소자에 비하면 작으나 연평균 시장증가율은 15%로 성장하여 2000년에는 시장점유율이 17%에 이를 것으로 전망되고 있다. 트랜지스터는 바이폴라 트랜지스터, MOSFET, IGBT로 구성되는데 1996년에는 트랜지스터중 바이폴라 트랜지스터의 수요가 가장 많은 것으로 나타나 있지만 2000년 이후에는 MOSFET이 트랜지스터 시장을 주도하게 되는 것을 알 수 있다. IGBT는 1996년에 트랜지스터시장의 2.3%에서 2000년에는 4.4%로 연 32%의 시장증가율을 보이고 있다.

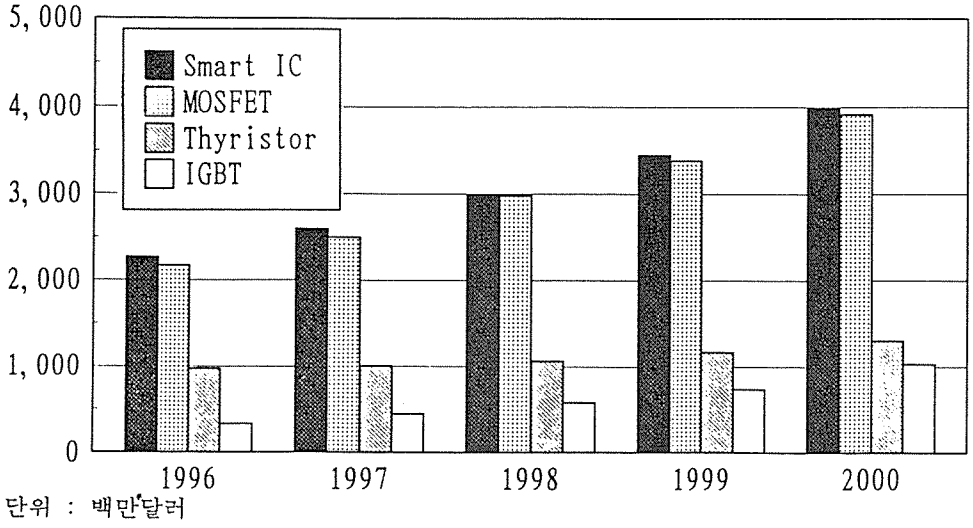
### 3.2 연구동향

미국의 전기학회 IEEE의 한 분과인 Electron Device Society에서 후원하는 International Symposium on Power Semiconductor Devices




(그림 2)

세계 전력용반도체 시장전망(WSTS자료)




(그림 3)

(ISPSD)가 1989년부터 시작하여 해마다 전력용 반도체소자 분야에 대한 연구결과가 발표되고 있다. 아직까지 국내의 연구결과가 ISPSD에 다수 발표되고 있지 않아 〈표 5〉에는 미국, 일본, 유럽의 해외연구동향을 소자별로 분류하였다. 각국에서 가장 활발한 연구대상이 되는 것은 IGBT로 대부분의 연구주체가 기업인 때문에 당장 거대시장이 조성될 것으로 예상되는 IGBT에 연구개발이 집중되는 것은 당연한 결과이다. MOSFET의 경우 개별소자용으로는 개발이 거의 완료된 상태이지만 스마트 파워 IC에 사용되는 Lateral MOSFET은 아직 연구대상이다. 고전압 Lateral MOSFET과 저전압 보호 및 구동회로의 BiCMOS 공정 연구 역시 활발한 편이다. 사이리스터의 경우는 대용량화 추세가 두드러지는데 대부분의 일본 전력용반도체 제조업체에서 관심을 보이고 있으며 6인치 대구경 웨이퍼를 이용한 6000V/6000A급 사이리스터와 GTO가 개발되고 있는 실정이다. 한편 MOS구동형 사이리스터는 주로 대학에서 연구중이며 기업의 참여가 없지는 않으나 차세대 전력소자로 분류하여 본격적인 연구개발은 아직 이루어지지 않고 있다. 역시 차세대 전력용 소자로 생각되는 화합물 반도체를 이용한 전력용 반도체는 반도체소재를 생산하는 기업과 일부대학에서 연구가 진행중인데 SiC가 가장 유망한 반도체 재료 후보로 부상하고 있다. 그러나 아직 웨이퍼 크기가 1~2인치에 불과하고 반도체 단위공정도 안정화 되지 않은 실정이기 때문에 실용화까지는 상당한 시일이 걸릴 것으로 생각된다.

## 4. 마 감

정보화는 물론 자동화 사회를 열어가기 위해서, 또한 대체에너지 공급 비율이 점차 늘어나고 환경문제가 삶의 질의 결정적인 요소로 대두되면서 전

〈표 5〉 세계 전력용반도체 연구동향

| | 국가별 | 주 연구 개발분야 |
|---|---|---|
| 사이리스터, GTO 사이리스터 | 일 본 | 6000V급 대구경 GTO, IEGT |
| | | 저손실 GTO |
| | 구 미 | 고전압, 대용량화 |
| | | 고전압, 대용량화 |
| MOSFETS | 일 본 | 고압 LDMOSFET, Deep Trench 구조 |
| | | LDMOSFET |
| | | MOFET 구조의 동기 정류기 |
| | 구 미 | DMOSFET |
| | | HEXAFET, PMOSFET |
| | | LMOS |
| IGBTs | 일 본 | SOI IGBT, 전기자동차용 IGBT |
| | | 2.5kV IGBT, 3세대 IGBT, 과전압 보호기능 |
| | | SOI IGBT |
| | | 2kV/500A IGBT 모듈 |
| | 구 미 | 전류 sensing 기능 IGBT |
| | | LIGBT, Trench IGBT |
| | | 저손실형 IGBT |
| | | 4kV IGBT, Trench IGBT |
| | | 전류 Sensor 일체형 IGBT |
| MOS gated Thyristors | 일 본 | 4.5kV MAGT |
| | | Dual gated MOS gated Thyristor |
| | 구 미 | Insulated gate Thyritoe(IGTH) |
| | | n-MCT, p-MCT |
| | | 2.2kV MCT |
| | | MCT의 Homogeneous switching 관련 연구 |
| | | EST, BRT 구조연구 |
| 화합물 반도체 | 일 본 | SiC Schottky 다이오드 |
| | 구 미 | GaAs MBE MESFET |
| | | Ohmic, Schottky 접합,마이크로웨이브 소자, GaAs MISFET |
| | | Sic 성장 및 소자 |

력용반도체의 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 국내의 사정도 마찬가지로 전력용반도체의 이용이 늘어나는 것은 당연하다고 할 수 있다. 반면 엄연한 국내시장이 존재하고 다양한 종류의 전력용소자의 수요가 있음에도 불구하고 전력용반도체에 대한 국내 산업과 대학에서의 연구활동은 미미하다고 할 수 있다. 삼성전자(주)에서 전력용 MOSFET 만큼은 그 가운데서도 나름대로 생산량이나 품질에서 정상궤도에 올라와 있고 IGBT에 있어서는 품질에 대한 소비자의 검증을 받는 단계이지만 제품개발 및 성능향상에 열심이기 때문에 MOSFET과 같이 대량생산이 가능할 것으로 전망된다. 한국전자(주)는 바이폴라 트랜지스터를 생산중에 있으며 2500V급 고속스위칭 사이리스터의 개발에 성공한 것으로 보도된 바 있다. 대학의 경우 서울대학, 아주대학, 인하대학, 한양대학에서 개별소자 및 지능형 소자에 대하여 부분적인 연구가 이루어지고 있다. 국책연구소의 경우 ETRI와 KERI에서 각각 스마트 파워 IC와 개별소자에 대한 연구가 진행중이지만 연구기장비와 전문연구인력 모두가 부족한 상황이다. MOSFET과 IGBT와 같이 CMOS 공정과 유사한 전력소자와 스마트 파워 IC는 반도체 메모리를 생산하는 국내기업에서 점차 관심을 갖고 투자를 계획하고 있다. 기술선진국 대부분의 경우 전력용반도체 소자의 발전은 아나로그 또는 디지탈 IC의 제조기술 진보에 힘입은 바 크다. 국내에도 세계적인 반도체 메모리 생산업체가 탄생하였고 CMOS 반도체 제작에 관해서는 기술축적이 이루어져 있기 때문에 전력용반도체 산업을 일으키기에 여건이 충분히 조성되어 있다고 볼 수 있다. 이익을 많이 낼 수 있는 품목에 대해서는 기업체가 자발적으로 앞장서겠지만 시장성 보다는 국가기반시설로 사용되는 초대용량소자와 미래지향적인 차세대전력용소자와 같은 민간부문에서 쉽게 투자하기 어려운 부문에 대해서는 국가적인 지원이 절실한 시점이다.

## 《"행동 혁신"이란》

변화의 필요성은 인식하면서도 생각 속에서만 그치고 남이 먼저 실천해야 내가 따른다는 수동적인 자세에서 벗어나 내가 먼저 실천함으로서 변화를 이끌어 가려는 자세