

전력용 반도체소자

황성규*·윤대원**

(*전자부품종합기술연구소 전자회로연구실 연구원,

**동 연구소 전자소자연구실장)

1. 개요

전력용 반도체소자(power semiconductor devices)의 용어 정의는 현재까지 명확히 이루어지지 않았으나, 전력전자(power electronics)의 발전에 없어서는 안될 핵심 반도체소자로서 전력용 반도체소자의 이해를 도모하기 위해서는 전력전자의 용어에 대한 이해가 선행되어야 한다. 1950년대 후반부터 사용되기 시작한 전력전자의 용어 역시 아직까지 정확한 정의가 이루어지지 않았지만, 미국의 Newell은 그림 1에 나타난 바와같이 전력(回轉機, 靜止器)과 전자(素子, 回路)와 이 두가지 요소를 결합하는 제어(連續, 離散)의 3가지 기본기술을 바탕으로 형성된 기술분야라 정의하

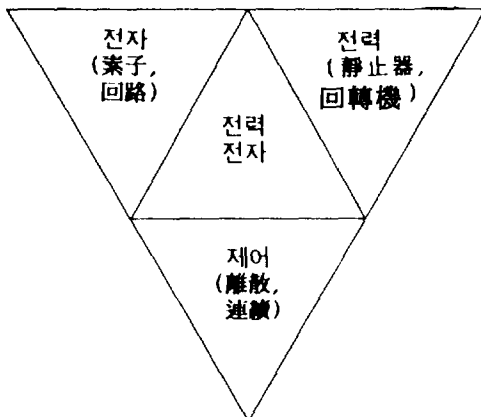


그림 1 전력전자의 구성영역

였다[1].

전력전자 구성 영역속에서 전력용 반도체소자는 전력의 변환이나 제어기능을 하는 반도체소자의 총칭이라 말할 수 있다. 정량적 개념측면에서 전력용량 1W 이상 이거나 정격 전류 1A 이상 혹은 소자의 내압(breakdown voltage) 100V 이상의 특성중 어느 한가지 조건을 만족하는 반도체소자를 전력용 반도체소자라 정의하기도 한다. 전력용 반도체소자는 다수의 종류가 있는데 아직까지 명확한 분류는 이루어지지 않지만 소자의 기능적 측면과 상용화된 제품군에 의한 복합적인 분류를 해보면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 기능적 측면에 의해 분류를 해보면 비제어소자와 제어소자로 대별되며, 비제어소자의 대표적 예로써 전력의 순변환장치(power converter)에 이용되는 정류다이오드(rectifier diode)가 있으며 제어소자는 많은 종류가 있는데 사이리스터(thyristor), 트라이액(triac)의 비소호자(非消弧素子)와 자기소호소자(自己消弧素子) 전류구동형인 바이폴라 트랜지스터(bipolar transistor), GTO 사이리스터(Gate Turn-Off thyristor)와 전압 구동형에 MOSEFT(Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor), IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor), SIT(Satic Induction Transistor), SI 사이리스터(Static Induction Thyristor), MCT(MOS - Controlled Thyristor) 등이 있다.

상용화 되어 있는 전력용 반도체 소자의 제품군에 의해 분류를 해보면 개별 전력소자(discrete power devices) 계열로 다이오드, 트랜지스터, 사이리스터가

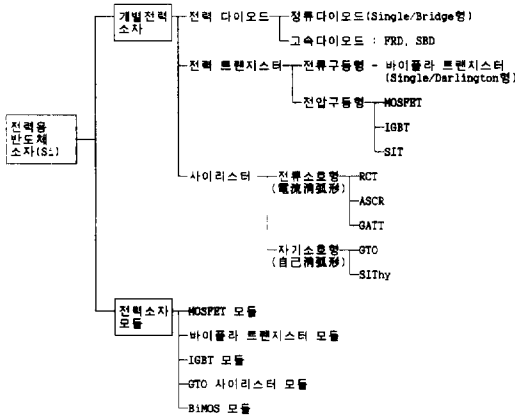


그림 2 전력용 반도체소자의 기능과 제품군에 의한 분류

있으며, 이들 개별 전력소자 기술의 진보에 힘입어 다수의 개별 전력소자 칩을 병렬 및 직병렬 접속시켜 전력의 대용량화와 다기능성을 구현한 전력소자 모듈(power device module)[2]로는 바이플라 트랜지스터 모듈, MOSFET 모듈, IGBT 모듈, GTO, 사이리스터 모듈 및 BiMOS 모듈 등으로 분류할 수 있다.

이와같은 전력용 반도체소자는 응용분야에 따라 다소 특성의 차이는 있지만 일반적인 반도체소자와 다르게 고내압, 대전류 구현기술과 전도손실 및 스위칭 손실(switching loss)의 저감화, 우수한 열적 안정도(thermal stability) 등을 구현하는 기술[3]들이 전력용 반도체소자의 핵심 기술이라 말할 수 있다.

전력전자 산업의 발전과 함께 지속적인 발전을 거듭해온 전력용 반도체소자는 전력전자 시스템 및 전자기기에 응용되어 수와트(watt)에서 수백 메가와트(megawatt)까지의 매우 광범위한 전력을 변환 및 제어하며, 가전제품용 모터구동에서 각종 정보통신기기의 전원장치, 산업용 중전기기 및 고속전철에 이르기까지 매우 다양한 분야에 응용되고 있는 핵심 반도체소자로서 중요한 역할과 위치를 차지하고 있다. 그림 3에 전력용 반도체소자의 응용분야를 동작 주파수와 응용시스템의 전력용량에 따라 나타냈다. 이 그림에서 알수 있듯이 저전력, 고주파수 영역의 microwave oven, 형광등 안정기, 스위칭 전원장치 등의 분야에서 대전력, 저주파수 영역의 고압직류 전송(high voltage DC transmission), 모터구동, 무정전 전원장치 등의 분야까지 응용되고 있다.

그림 4에는 전력용 반도체소자를 전력용량과 동작주

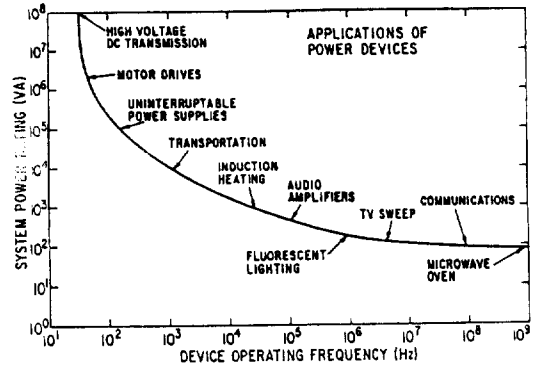


그림 3 전력용 반도체소자의 응용분야

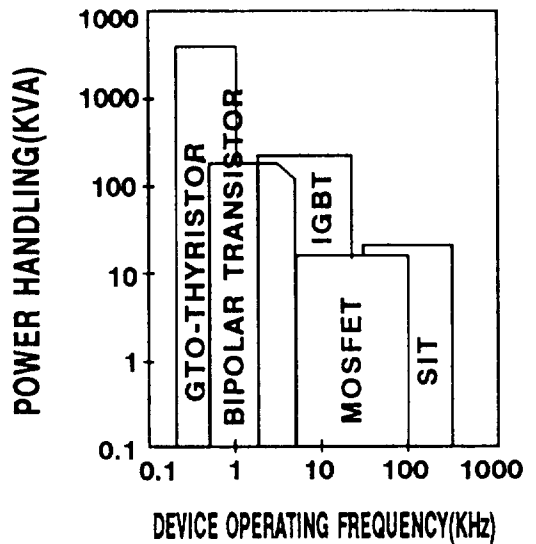


그림 4 전력용 반도체소자의 전력용량과 동작주파수

파수에 따라 도시하였다. 대전력 응용분야에는 주로 사이리스터 및 GTO 사이리스터 등이 많이 응용되며, 중·저 전력 응용분야인 모터구동, 무정전 전원장치(Uninterruptable Power Supply), 유도가열기(Induction Heating), OA기기, 전자식안정기, 스위칭 전원장치, 자동차 전자(Automotive Electronics) 분야에는 바이플라 전력 트랜지스터, 전력 MOSFET, IGBT, SIT 등이 대부분 응용되고 있다.

2. 전력용 반도체소자의 기술적 특성

전력용 반도체소자는 일반 반도체소자에 비해 고내

압 및 대전류를 구현하는 기술적 특성이 있다. 이외에도 전력소자의 응용분야에 따라 요구되는 고유한 기술적 특성이 있으므로 개개의 전력소자에 대한 구조 및 기술적 특성을 간략히 논의하기로 한다.

2.1 개별 전력소자

전력용 반도체소자의 분류에서 이미 기술하였던 바와 같이 개별 전력소자는 전력 다이오드, 전력 트랜지스터 그리고 사이리스터 계열의 소자로 구분할 수 있다.

전력용 반도체소자중 가장 깊은 역사를 가진 전력 다이오드는 전력전자 시스템에 응용되어 주로 전력의 순변환 기능을 한다. 전력 다이오드의 주요 핵심기술은 고내압, 대전류, 고속화의 구현이라고 말할 수 있다. 이와 같은 전력 다이오드는 그림 5에 나타낸 바와 같이 고내압 실현에 용이한 비저항(resistivity)이 매우 큰 진성(intrinsic)영역인 i 영역을 이용하는 $p-i-n$ 구조의 다이오드[4]가 범용적으로 이용된다. $p-i-n$ 다이오드는 공핍화(depletion)가 쉬운 불순물(impurity) 농도가 매우 낮은 i 영역의 이용으로 고내압 실현에는 비교적 용이하지만 p^+ 애노드(anode) 영역으로부터 i 영역에 주입(injection)되는 소수캐리어 축적 효과(minority carrier storage effect)[4]에 의해 스위칭에 제한이 있다. 따라서 $p-i-n$ 다이오드의 고속 스위칭을 위해 i 영역에 중금속(Au, Pt) 등을 도핑(doping)하거나 전자 조사(electron irradiation)[5] 등에 소수캐리어 life-time 제어기술을

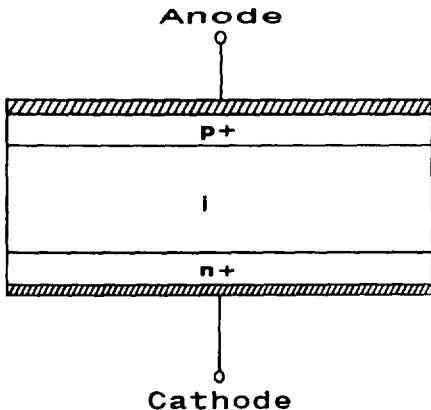


그림 5 $p-i-n$ 다이오드의 단면구조

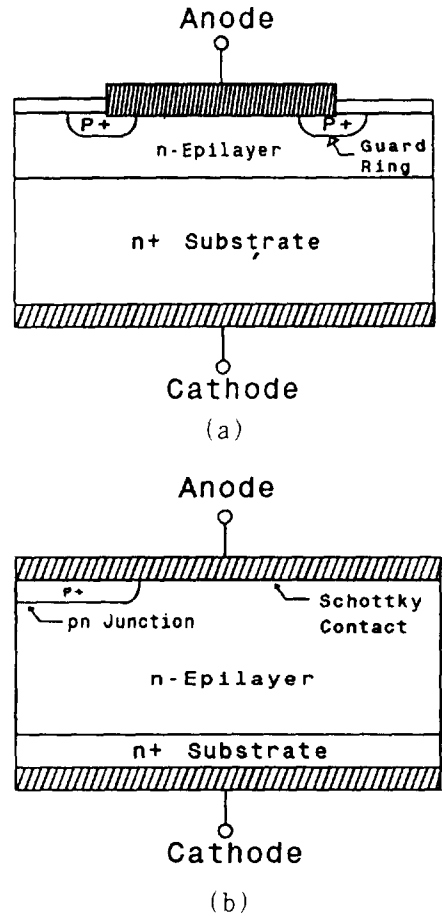


그림 6 고속 다이오드(SBD, MPS)의 단면구조
(a) p^+ guard ring이 있는 SBD
(b) MPS 다이오드

통한 소자의 고속 스위칭 기술이 진행되고 있다.

고속 스위칭 특성을 갖는 또다른 전력 다이오드구조를 그림 6에 도시하였으며 (a)는 p^+ guard ring을 가진 SBD(Schottky Barrier Diode)[6], (b)는 $p-i-n$ 다이오드와 SBD가 병렬 접속된 MPS(Merged $p-i-n$ /Schottky) 다이오드[7]의 단면구조를 보여 준다. 이들 두 다이오드의 공통적인 특성은 고속 스위칭을 위해서 애노드 영역을 쇼트키 접촉(Schottky contact)을 이용하는 것이며, (a)의 SBD에 p^+ guard ring은 전력용 반도체소자에서 고내압 구현을 위해 일반적으로 사용하는 기술로 소자 가장자리의 전계(electric field) 완화효과[8]에 의해 고내압 구현할 수 있으며, 또한 에피층과 표면 산화막간의 발생되는

누설전류(leakage current)를 줄이는 효과도 있다. (b)의 MPS 다이오드는 애노드 영역이 pn 접합과 쇼트키 접합이 혼합된 구조로 두 접합영역간의 면적비를 변화하여 고내압과 고속화[9]를 동시에 구현할 수 있다. 그러나 이러한 SBD와 MPS 다이오드는 p-i-n 다이오드에 비하여 고속 스위칭의 특성을 나타내지만, 고내압 구현에는 제한이 있다.

전력 트랜지스터는 자기소호자로 직류를 교류로 역변환(inverting)하는 인버터 회로에 응용되어 고속 스위칭 역할을 하며, 전류 구동형에 바이폴라 전력 트랜지스터와 전압 구동형에는 전력 MOSFET, IGBT, SIT가 있다. 이러한 전력 트랜지스터는 스위칭 소자로서 (1)전도상태(on state)에서 낮은 전도손실 (2)고속 스위칭 특성과 스위칭 손실의 저감 (3)간단한 구동회로 (4)고내압과 넓은 SOA(Safety Operating Area) 등의 조건을 갖추어야 한다. 따라서 전력 트랜지스터는 고내압화, 대전류와, 고속화 및 전도손실의 저감화 등의 기술개발 동향을 보이고 있다.

바이폴라 전력 트랜지스터는 전력 MOSFET에 비해 고내압, 대전류 구현과 전도손실을 의미하는 낮은 순방향 전압 등에서는 우수한 특성을 나타내지만, 스위칭 동작시 베이스 영역의 소수캐리어 축적에 의하여 스위칭 속도에 제한이 있다. 따라서 바이폴라 전력 트랜지스터는 고내압 및 고속 스위칭 구현을 위하여 콜렉터(collector) 및 베이스(base) 영역의 불순물 농도와 두께(thickness)의 최적화[4]와 전계를 완화해 주는 guard ring 혹은 field plate[8] 설계 등의 기술이 중요하다. 소자의 고내압 구현을 위해 사용된 베이스 영역의 두께와 비저항을 크게 하면 스위칭 시간이 길어진다. 따라서 이러한 소수캐리어의 life-time을 제어하는 기술로 금(Au)을 도핑하거나 에미터 패턴의 미세화[10]를 통하여 스위칭 속도를 개선한다. 외부회로의 사용으로도 바이폴라 전력 트랜지스터의 고속화를 구현할 수 있으며, 이러한 기술로는 콜렉터와 베이스간에 다이오드의 접속을 통해 소자의 완전포화방지, turn-off시 베이스에 역바이어스 전류의 증가 혹은 darlington 결합형에서는 speed up diode 사용 등의 기술이 있다[11]. 대전류화에는 칩의 대면적이 필요하며, 전류이득의 향상과 포화전압의 저감도 고려하여야 한다. 이를 위해서는 에미터 패턴의 미세화를 통해서 유효면적의 증가, 전류분포의 균일화를 구현한다[11].

1970년대 후반에 VLSI의 기술향상에 힘입어 바이

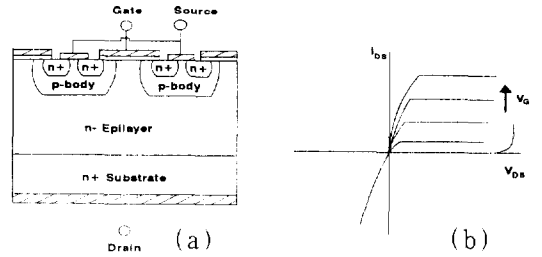


그림 7 VDMOSFET의 단면구조 및 출력특성

- (a) 단면구조
- (b) 출력특성

폴라 전력 트랜지스터에 비해 전압구동형으로 구동회로가 간단하고 고속 스위칭이 가능하며 열적 안정도가 우수한 전력 MOSFET이 개발되었다[12]. 현재 상용화 되어 있는 대부분의 전력 MOSFET은 그림 7 (a)에 나타난 VDMOS(Vertical Double diffused MOS)를 기본구조로 하고 있으며, (b)는 전력 MOSFET의 출력특성을 나타내고 있다. 전력 MOSFET의 출력 특성에서 알수 있듯이 역방향 차단능력(reverse blocking capability)이 없기 때문에 AC 회로에는 직접적으로 응용될 수 없다.

전력 MOSFET의 구조상 특이한 점은 그림 8에 나타난 바와같이 매우 다양한 소오스 셀(source cell)을 갖으며, 소자 동작 전류정격을 고려하여 소오스 셀의 갯수가 설계되며 또한 셀의 모양과 크기는 전력 MOSFET의 주요 특성변수인 도통저항과 밀접한 관련이 있다. 상용제품의 가장 보편적인 셀의 모양은 "square on square grid"와 "hexagon on hexagon grid"의 형태이며, 칩면적의 효율을 의미하는 g값이 1로써 우수하다. 이와같은 전력 MOSFET은 고내압 구현을 위해 사용한 불순물의 농도가 낮고 두꺼운 에피층에 의한 직렬저항이 소자의 도통저항에 주요한 성분으로 영향을 미치며 바이폴라 전력 트랜지스터에 비교해 상대적으로 큰 전도손실을 초래한다. 따라서 전력 MOSFET은 도통저항의 저감화 기술이 매우 중요하며, 이러한 도통저항의 감소를 위해서 항복전압과 도통저항 사이의 trade-off를 고려한 최적 설계기술[13]과 그림 9에 나타난 트렌치(trench) 게이트 구조의 전력 MOSFET도 개발되었다[14].

트렌치 게이트 구조의 전력 MOSEFT은 VDMOSFET의 n-형 에피층(epilayer) 영역에서 생기는

	LINEAR GEOMETRY	SQUARE ON SQUARE GRID	CIRCLE ON SQUARE GRID	HEXAGON ON SQUARE GRID	SQUARE ON HEXAGONAL GRID	CIRCLE ON HEXAGONAL GRID	HEXAGON ON HEXAGONAL GRID
SOURCE GEOMETRY AND GRID							
UNIT CELL							
COEFFICIENT OF FOR CELLULAR GEOMETRIES	NOT APPLICABLE	1.0	0.8662	0.9308	1.0746	0.8662	1.0

그림 8 전력 MOSFET의 다양한 소오스 셀 구조

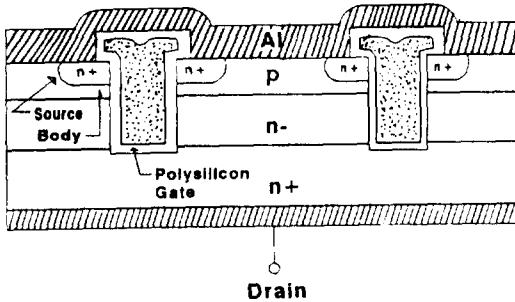


그림 9 트렌치 게이트 구조의 전력 MOSFET의 단면구조

직렬저항의 성분을 트렌치된 게이트 영역의 확장을 통해 감소시킬 수 있다. 또한 게이트 면적의 효율적인 이용으로 집적도(packing density)를 높일 수 있다는 장점도 지니고 있지만 공정이 다소 복잡하며 VDMOSFET에 비해 고내압 구현에 제한이 있으므로 저내압 전력 MOSEFT에 적합한 구조이다.

IGBT는 전력 MOSEFT의 높은 입력 임피던스(impedance)와 간단한 구동회로, 고속 스위칭 특성과 바이플라 전력 트랜지스터의 낮은 도통저항 특성 등의 장점만을 취소한 소자로 구조면에서 보면 그림 10(a)에 나타난 바와 같이 VDMOSFET의 n⁺ 드레인 영역을 p⁺ 콜렉터 영역으로 대체하여 콜렉터로부터 n-형 에피층 영역으로 정공(hole)을 주입하여 전도도(conductivity)를 증가시켜 VDMOSFET에서 나타나는 에피층 영역의 직렬저항(series resistance)을 감소시킨다[15], [16]. 이와같은 IGBT는 전력 MOSEFT에 비해 낮은 도통저항, 고내압 구현은 용이하지만 스위칭 속도는 뒤떨어진다. 따라서 IGBT의 고속 스위칭을 위해 n-형 에피층 영역에서 전자 및 중성자 조사[17], 콜렉터 영역과 에피층 영역사이의 n⁺형 buffer 층의 삽입[18] 등의 기술이 개발되어 상용화된 제품에 응용

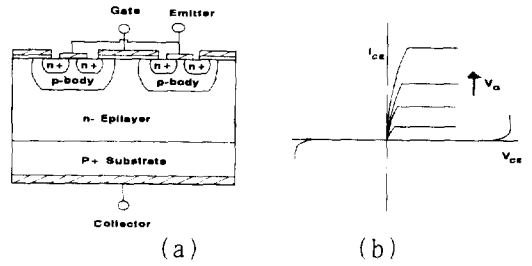


그림 10 IGBT의 단면구조 및 출력특성

- (a) 단면구조
- (b) 출력특성

되고 있다. 그림 10 (b)의 IGBT의 출력특성에 나타난 바와같이 전력 MOSEFT와는 다르게 IGBT는 순방향 및 역방향 차단능력을 지니고 있어서 비교적 AC 응용이 가능한 소자이다.

IGBT는 동작전류가 커지면 콜렉터에서 에미터간에 존재하는 기생적인 p-n-p-n 사이리스터 구조의 turn-on에 의해 latch-up 발생 가능성이 있어 latch-up을 방지하는 기술[19]도 중요하다. 또한 고집적과 전도손실의 감소를 위해 자기정렬(self aligned)된 PSG(Phosphosilicate Glass) side-wall 구조[20] 혹은 트렌치 구조[21] 등의 IGBT의 상용화도 검토되고 있다.

SIT는 고속동작에서 낮은 전도손실, 고내압, 대전류화의 용이성 및 열적특성이 우수하다. 게이트 전압이 0 V(volt)일때 드레인 전류가 흐르는 normally on 형과 바이플라 모드 SIT라고도 하는 normally off 형의 SIT가 있다.

전력 트랜지스터에 비해 매우 큰 전력용량과 느린 스위칭 속도의 특성을 갖는 사이리스터는 대전력, 저주파수 영역에서 사용되고 있다. 사이리스터의 종류는 역전류에 의해 소자를 turn-off하는 전류소호형으로 RCT[22], ASCR[22], GATT[23] 등이 있으며, 자기소호형에 GTO[24], SI 사이리스터[25] 등이 있다. 사이리스터 기술개발 동향은 대전력, 고주파수, 고기능화, 구동회로의 간소화 등의 추세를 보이고 있다. 사이리스터 turn-off 시간의 단축을 위한 기술로는 turn-off시 게이트와 캐소드(cathode) 사이에 역바이어스를 인가하여 turn-off 시간을 단축하는 GATT, 사이리스터와 다이오드를 역병렬로 접속한 역도형 사이리스터(RCT)가 개발되었다. 그러나 이러한 소자

는 고주파 동작이 가능한 GTO 사이리스터의 기술개발에 의해 점진적으로 대체되고 있다. 또한 변개, serge 등의 과전압으로 부터 소자를 보호하는 외부 보호회로가 설계되어 응용되지만, 이러한 보호회로의 기능까지 할수 있는 과전압 자기보호형 사이리스터도 개발되었다.

2.2 전력소자 모듈

전력전자 시스템의 소형경량화, 고효율화 및 무소음화의 추세에 부응하기 위해, 개별 전력소자 기술 발전에 힘입어 전력소자 모듈(power device modules)이 1980년경에 제품으로 출현되었다. 그림 11은 전력소자 모듈의 대표적인 예로써 1200V/150A급 IGBT 모듈의 외형도이다. 전력소자 모듈의 주요한 특성은 개별 전력소자에 비해 적은 구동력(전압 혹은 전류)으로 동작전류의 대용량화가 가능하며, 주변회로 및 부품(components)수의 감소에 의해 응용되는 전력전자 시스템의 소형경량화에 주요한 영향을 미친다는 것이다. 따라서 전력소자 모듈의 주요기술은 대용량화의 구현을 위해서 동일 전력 소자의 다수칩을 병렬접속 혹은 이중 전력 소자간의 직렬(cascade) 접속하는 기술과 대용량화에 따라 발생하는 열방출 등을 고려한 패키지(package) 기술 등이 매우 중요하다.

전력소자 모듈의 종류는 다양하며 그림 12에 나타낸 바와 같이 다수의 바이폴라 트랜지스터를 병렬접속시킨 바이폴라 트랜지스터 모듈이 있으며, 그림에 보여진 에미터단에 연결된 저항은 각각의 바이폴라 트랜지스터간 특성이 다소 차이가 있으므로 전류 밸런스를 개선하기 위한 목적으로 사용된다. 또한 바이폴라 트랜지스터 모듈의 파괴내량 향상을 위해서 베이스와 에미터 사이에 다이오드를 내장시킨 모듈도 상용화되고 있으며, 이러한 바이폴라 트랜지스터 모듈은 주로 범용 인버터나 무정전 전원장치 등에 응용되어 시스템의

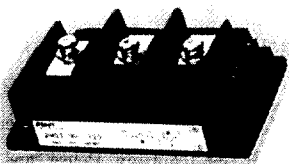


그림 11 IGBT 모듈의 외형도

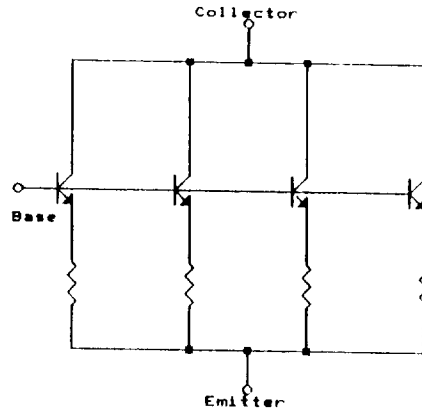


그림 12 바이폴라 트랜지스터 모듈의 내부회로도

고효율화, 무소음화 및 소형경량화에 주요한 영향을 미친다. 바이폴라 트랜지스터의 모듈에 비해 전압 구동형으로 구동회로가 간단하고 열적안정도가 우수하며 고속 응용에 적합한 MOSFET 모듈도 상용화되어 시스템의 고효율화, 무소음화 및 원가비용의 저감화 요구에 부응하고 있다.

또한 바이폴라 트랜지스터의 대전력, 낮은 전도손실의 특성과 MOSFET의 간단한 구동회로의 장점만을 이용하는 IGBT의 모듈도 상용화되어 있으며, GTO 사이리스터를 직접 병렬 접속시켜 대용량을 구현하는 GTO 사이리스터 모듈을 비롯하여, 바이폴라 트랜지스터를 보다 빠른 속도로 스위칭하기 위하여 출력단의 바이폴라 트랜지스터를 MOSFET로 대체하는 cascade형 BiMOS 모듈도 있다. 그림 13에 cascade형 BiMOS 모듈의 내부회로도를 나타냈다. cascade형

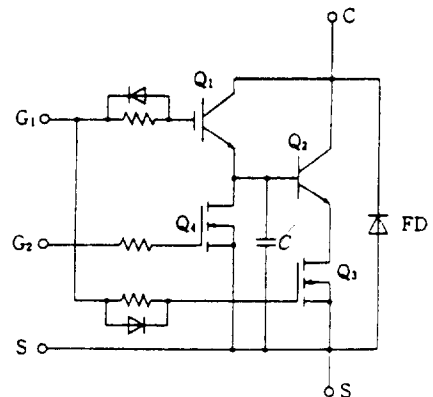


그림 13 cascade형 BiMOS 모듈의 내부회로도

3. 결 론

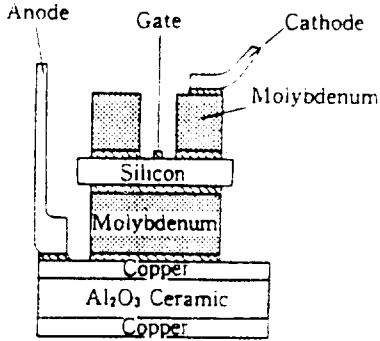


그림 14 전력소자 모듈의 패키지의 단면구조

BiMOS 모듈은 이외에도 GTO 사이리스터와 MOS-FET의 접속형태와 IGBT와 바이플라 트랜지스터의 접속형 등 다양하게 상용화가 진행되고 있다.

전력소자 모듈의 대용량화 기술이 진행되면서 소자의 안정된 동작을 위해서는 패키지 기술이 매우 중요하다. 모듈화는 소자간의 종래의 납땜 및 압접구조 대신에 전력소자 모듈을 위한 새로운 패키지기술도 개발되고 있다. 그림 14는 전력소자 모듈의 새로운 패키지 기술의 대표적인 구조이다.

이 패키지 기술의 구조는 알루미늄(Al_2O_3) 기판의 양면에 구리판막(copper foil)을 납땜(soldering)이 아닌 직접접합(direct bonding) 방법에 의해 형성하고 윗 구리판막에는 필요한 배선의 패턴을 에칭(etching)한다. 이 패키지 기술의 우수성은 열피로(thermal fatigue)에 강하고 열저항(thermal resistance)은 기존의 산화베리움 기판 보다 낮다.

전력소자 모듈의 기술은 이러한 대용량화 추세 이외에도 모듈을 구동하는 구동회로, 제어부회로 및 과열, 과전류, 과전압으로부터 소자를 보호하는 보호회로까지 내장하는 고기능의 소형 모듈화의 추세도 있으며, 이러한 고기능, 고집적 전력소자 모듈의 기술은 전력 집적회로의 구현 기술과도 밀접한 관계가 있다. 대용량의 전력소자 모듈은 모듈유형의 특성에 따라 응용되며 바이플라 트랜지스터 모듈은 인버터에 응용되어 구동회로 및 주변회로, 부품 등의 간소화에 의해 시스템의 소형경량화 및 열적 안정도에 우수한 영향을 미치며, MOSFET 모듈을 비롯한 IGBT 모듈, BiMOS 모듈은 전력전자 시스템의 저소음화, 고효율화, 고속화 등에 주요한 영향을 주고 있다.

지금까지 전력용 반도체소자를 기능적 측면과 상용화된 제품군의 복합적인 분류 방법으로 개별 전력소자에 전력 다이오드, 전력 트랜지스터, 사이리스터와 주로 전력 MOSFET, 전력 바이플라 트랜지스터, IGBT 등의 이종 혹은 동종 소자간의 병렬 및 직병렬 접속형태의 전력 소자모듈로 구분하여 이러한 전력소자의 기본구조, 전기적 특성 그리고 기술 동향에 대해 간략히 살펴 보았다. 전력용 반도체소자의 기술발전의 주이는 고내압, 대전류구현에 의한 대용량화, 고속 스위칭화와 더불어 전도 및 스위칭 손실의 저감화의 기술이 지속적으로 발전하고 있다.

전력용 반도체소자는 과거 전력 다이오드, 바이플라 전력 트랜지스터 및 사이리스터 중심의 시장구성이 80년대에 들어와 전력 MOSFET와 IGBT의 지속적인 기술 발전에 힘입어 92년 전력용 반도체소자 전체 시장 45억불의 53%에 해당하는 24억불을 전력 MOSFET, IGBT, 바이플라 전력 트랜지스터가 시장을 구성하고 있으며, 연간 10% 이내의 지속적인 성장이 예고되고 있다.

또한 전력 MOSFET, IGBT는 개별 전력소자로서의 역할뿐만 아니라 논리회로 혹은 고성능 아날로그 회로와 동일 칩상에서 모노리틱(monolithic)형태로 집적화되는 스마트 전력 집적회로(smart power IC)의 출현에 중요한 영향을 미쳤으며, 스마트 전력 집적회로의 출력단 소자에 응용되어 파워부하의 구동 및 제어의 기능을 하고 있다.

이러한 전력용 반도체소자의 기술발전은 전력 전자 산업의 핵심 반도체소자로서 전력전자 시스템, 각종 전자기기 및 가전제품에 응용되어 이들 응용제품 및 시스템의 고급화, 지능화, 소형경량화에 크게 기여하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이윤중, 한경희, 백수현, 김 용 편저, "반도체 전력변환회로를 중심으로 한 전력전자", 동일출판사, 서울(1991).
- [2] G.Majumdar, S.Yoshida, T.Iida, "Prospects of BiMOS Power Devices for High Power and High Frequency Applications", Proc. of ISPSD' 88, pp. 74~79 (1988).

- [3] B.J.Baliga, "Evolution of MOS-Bipolar Power Semiconductor Technology", Proc. of the IEEE, vol. 76, pp. 409~418(1988).
- [4] S.K.Ghandi, "Semiconductor Power Devices", Wiley, New York(1977)
- [5] B.J.Baliga and E.Sun, "Comparison fo Gold, Platinum and Electron Irradiation for Lifetime Control in Power Rectifiers", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-24, pp. 685~688(1977)
- [6] Y.Ameniya and Y.Mizushima, "Bipolar-Mode Schottky Contact and Applications to High-Speed Diodes", IEEE Trans. Electron Devices, vol.ED-31, pp. 35~42(1984).
- [7] B.J.Baliga and H.R.Chang, "The Merged p-i-n Schottky(MP) Rectifier : A High-Voltage, High-Speed Power", IEEE IEDM Tech. Dig., pp. 658~661(1987).
- [8] B.J.Baliga, "Modern Power Devices", John Wiley & Sons, New York(1987)
- [9] S.H.L.Tu and B.J.Baliga, "Optimization of the MPS Rectifier via Variation of Schottky Region Area". Proc. of ISPSD '91, pp. 109~112(1991).
- [10] Y.Nakatani, H.Nakazawa, Y.Nawata, K.Ono and M. Kohno, "A new Ultra-High Speed High Voltage Switching Transistor", Proc. Power Conf. 7(1980).
- [11] 大見忠弘, 竹内南, "所持輯: 電力用半導體デバイスの高性能化・インテリジェント化の動向の(IV.バイポーラパクトラップスタ)", J.IEE Jpan, vol.110, No.2, pp. 90~93(1990).
- [12] M.J.Declerg and J.D.Plummer, "Avalanche Breakdown in High Voltage D-MOS Devices", IEEE Trans. Electron Devices, vol.ED-23, pp.1~4(1976).
- [13] S.C.Sun and J.D.Plummer,er, "Modeling of the ON-Resistance of LDMOS, VDMOS and VMOS Power Transistor", IEEE Trans. Electron Devices, vol.ED-27, pp. 356~367(1980).
- [14] D.Ueda, H.Takagi, A.Shimano and G.Kano, "A new Vertical Sidewall Channel Power MOSFET with Rectangular Grooves", in Extended Abstracts 16th Int. Conf. Solid-State Devices and Materials, pp. 313~316(1980).
- [15] B.J.Baliga, et al., "The Insulated Gate Rectifier(IGR): A new Power Switching Devices", in Proc. IEDM, pp. 264~265(1982).
- [16] H.W.Becke and C.F.Wheathley, "Power MOSFET with an Anode Region", U.S Patent, No.4,364,073, Issued Dec.(1982).
- [17] W.S.Strifler and B.J.Baliga, "Comparison of Neutron and Electron Irradiation for Controlling IGT Switching Speed", IEEE Trans. Electron Devices, vol.ED-32, 1629~1632(1985).
- [18] D.S.Kuo, et al., "Modeling the Turn-off Characteristics of the Bipolar-MOS Transistor", IEEE Electron Dev. Lett., vol.EDL-6, pp.211~214(1985).
- [19] B.J.Baliga, M.S.Adler, P.V.Gray and R.P.Love, "Suppressing Latch-up in Insulated Gate Transistors", IEEE Electron Device., vol EDL-5, pp. 323~325(1984).
- [20] M.Mouri, Y.Nakano and T.Tanaks, "New Self-aligned Fabrication Process Using PSG Sidewall for Power Devices with DMOS Structure", Proc. of ISPSD '88, pp.159~162(1988).
- [21] D.Ueda, K.Kitamura, H.Takagi and G.Kano, "A new Injection Suppression Structure for Conductivity Modulated Power MOSFETs", the 18th Inter. Conf. on Solid-State Devices and Materials, pp. 97~100(1986).
- [22] R.A.Kokosa and B.R.Tuft, "A High-Voltage, High Temperature Reverse Conducting Thyristor", IEEE Trans. Electron Devices, vol.ED-17 no.9, pp.667~672(1970).
- [23] P.S.Raderecht, "The Development of A Gate-Assisted Turn-off Thyristor for Use in High Frequency Applications", Int. J. Electron, vol.36, pp. 399~416(1974).
- [24] A.A.Jaecklin and B.Adam, "Gate Turn-off Thyristors with Near Perfect Technology", IEEE IEDM, PP. 114~117(1986).
- [25] K.Kahiwara, Y.Watakabe, Y.Yukimoto and K.Shirahata, "A High Speed, High Voltage Static Induction Thyristor", IEEE IEDM, p. 654(1980).



황성규(黃聖圭)

1965년 8월 20일생. 1987년 아주대 공대 전자공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 전자부품종합기술연구소 전자회로 연구실 연구원

구원



윤대원(尹大源)

1949년 10월 14일생. 1971년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 1984년 Texas A & M Univ. 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Texas A & M Univ. 전기공학과 졸업(공학박). 1976~82년 금성정밀공업. 1989~91년 현대전자산업(주). 현재 전자부품종합기술연구소 전자소자 연구실장 수석연구원