



전력용 반도체소자의 기술동향

김용주*, 김성배**

*특허청 심사4국 반도체1과 심사관, **특허청 심사4국 반도체1과

1. 서론

최근 전력변환기술을 주제로 하는 파워엘렉트로닉스 (Power Electronics: PE)의 발전은 전력분야, 산업기기, 정보·통신 및 가정용기기에 이르기까지 인류생활 전 분야에 걸쳐 매우 폭넓게 이용되어지고 있다.

PE는 전력변환용 반도체소자의 발전에 크게 의존하는데 종래, 전력변환 제어용의 파워반도체 소자로서는 逆阻止 3 단자형과 역 도통형의 싸이리스터가 널리 사용되어져 왔다.

그러나, 싸이리스터는 자기소호가 불가능한 소자이기 때문에 轉流회로가 필요한 등의 적용범위가 제한적이었으나 1970년대에 들어서 자기소호가 가능한 소자인 GTO싸이리스터(Gate Turn-off Thyristor)와 Power MOS의 출현 및 Bipolar Transistor의 대용량화에 의해 전력변환장치의 응용범위가 급속히 확산되었고, 1980년대末 IGBT가 실용화되면서 MOS나 IGBT등의 전압제어형 소자의 출현은 제어회로의 IC화를 가능하게 하여 PE의 발전에 크게 기여를 했을 뿐만 아니라, 전력변환용 반도체소자의 성능향상 및 특성 개선에 새로운 전기를 마련했다고 할 수 있다.

본 稿에서는 이러한 전력용 반도체 스위칭소자의 분류 및 상호 비교를 행하고, 다이오드를 포함한 스위칭소자의 전반적 기술동향 및 앞으로의 과제에 대하여 소개 하고자한다.

2. 파워 스위칭소자의 현재와 앞으로의 과제

자기소호형 파워 스위칭소자는 그 구조로부터 표 1과같이 바이폴라系, MOS系, SI系와 트랜지스터群, 싸이리스터群 등으로 나눌 수 있다.

표 1. 자기소호형 파워반도체소자의 분류

트랜지스터	Bi-Transistor	MOSFET	SIT
싸이리스터	GTO Thyristor	IGBT·MCT	SI-Thyristor

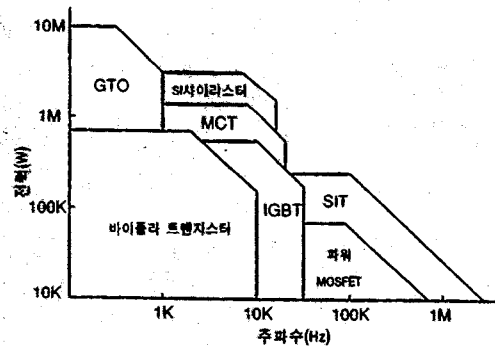


그림 1. 전력용 반도체소자의 적용 가능범위

MOSFET·SIT등의 유니폴라소자는 스위칭속도가 빠르고, 테일전류 또한 존재하지 않기 때문에 스위칭손실이 적지만 도통 손실이 큰 것을 단점으로 들 수 있다. IGBT, MCT, B-SIT등의 바이폴라소자는 전압강하가 작고, 스위칭 주파수가 10kHz 이상의 영역에서의 적용범위가 크게 확대되고 있다.

이중 가장 보급이 일반화 되어있는 것은 IGBT로서 현재 MOSFET 구동의 PNP transistor동작을 원리로 하는 제 3세대 IGBT는 낮은 구동전력과 온전압 및 중간 주파수 (100kHz 전후)대에 대응 가능한 주파수특성을 가지고 있다.

몰드형 디스크리트IGBT, IGBT모듈 그리고 IPM (Intelligent Power Module)등이 제품화 되어져 중·소용량은 물론 대용량에의 응용에 까지 그 영역을 넓혀가고있다. 사진 1에 IGBT=IPM의 외형과 표 4에 그 보호기능을 나타내었다.

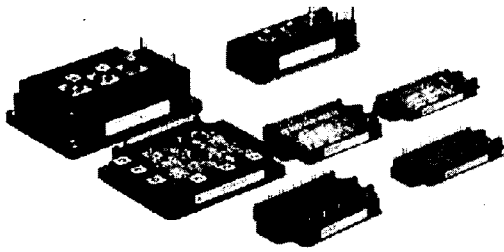


사진 1. IGBT-IPM

표 2. 자기소호형 파워반도체소자의 분류

(X: 나뭇잎, △: 보통, ○: 양호, ⊙: 매우양호)

	구동전력 직렬접속	직렬 접속	병렬 접속	과전류 보호	과전압 보호	PWM 주파수
GTO Thyristor	대	○	○	△	○	3kHz
Bipolar Tr.	중	X	⊙	○	○	10kHz
Bipolar Tr. Module	중	X	⊙	○	○	10kHz
Power-MOSFET	소	X	⊙	⊙	○	1M이하
Power MOS Module	소	X	⊙	⊙	○	100kHz
IGBT	소	X	⊙	○	⊙	100k이하
MCT	소	X	⊙	○	X	20kHz
SI-Thyristor	소	○	○	△	○	10kHz
SIT	소	X	⊙	○	○	100kHz

토탈시스템의 코스트다운 및 저손실, 소형화를 위한 ULSI process 기술의 적용과 새로운 개념의 소자로서, 트랜치 게이트(Trench Gate)기술, 파인 패턴(fine pattern), MCT(MOS Controlled Thyristor)등의 새로운 개념의 소자들이 개발되었다.

MCT의 구동기술은 아직 충분히 확립되었다 할 수 없는 상태로 전압강하가 다른소자에 비해 상당히 작기 때문에 대전류용 용도에 상당히 유망한 것으로 평가받고 있다.

그림 1은 최신의 파워 반도체소자의 적용범위를 나타낸 것으로 각종 파워 반도체소자의 특징을 표 2에, 소자 각각의 특성을 비교한 것을 표 3에, 그리고 종합 평가를 행한 것을 표 5에 나타내었다.

2.1 Thyristor

싸이리스터는 turn-off기능이 없는 고내압·대용량화에 적합한 소자로서, 동작주파수가 낮은 전력계통에 흔히 사용

표 3. 전력변환용 파워 반도체소자의 특성 비교

	GTO Thyristor	SI Thyristor	Bipolar Transistor	Power MOSFET	IGBT	SIT	MCT
최대정격	6000V~5000A 4000A~4500A	2500V~600A 800A~1200A	1400V~400A 800A~600A	500V~1500A	1700V~300A 800A~600A	1500V~180A	1000V~100A
On저항	2.5V	2.5V	2.5V	6.5V	2.5V	30V	1.1V
Gate구동	전류	전압	전류	전압	전압	전압	전압
Turn-on시간	8.0μs	3.0μs	2.0μs	1.0μs	1.0μs	0.3μs	0.2μs
Turn-off시간	14μs	3.2μs	14μs	0.7μs	2.0μs	0.3μs	2.0μs
di/dt 내량	200A/μs	300A/μs	-	-	-	-	200A/μs
dv/dt 내량	600V/μs	200V/μs	-	-	-	-	20000V/μs

표 4. IPM의 보호기능

기능	내용
과전류 보호	콜렉터전류 감시 (과전류에 대해보호 동작으로 전류를 차단)
단락 보호	"
드라이브 전원전압 보호	드라이브 전원전압을 검출하여 전압이 저하하면 전압 부족으로인한 소자의 파괴를 막는다
과열 보호	온도센서를 내장하고 온도가 이상상승하면 출력을 정지 시킨다.

되며, 특히 수10MW~수100MW의 용량이 필요한 대전력용의 변환기 등에서는 여러개의 소자를 직/병렬접속하여 사용하므로 개개의 소자내압 및 전류용량을 크게할 필요가 있다.

또한, 고전압 회로에서 게이트회로의 절연이나 노이즈문제를 해결하기 위해 광신호 트리지거가 가능한 고내압·대용량화한 광사이리스터가 요구되어지고 있다.

2.2 GTO Thyristor

GTO 싸이리스터는 자기소호기능을 갖는 고내압용 소자로서 80년대 초기 2.5kV/0.8A 소자의 개발이래 최근 6kV/6kA 용이 개발되어 전기차량 및 대용량 산업용 인버터에 널리 사용되고 있다.

이러한 인버터는 종래 수 100Hz에서 동작하였지만 장치의 소형화/저소음화를 위해 동작주파수를 높이는 것이 바람직하나 이때 turr-off 시간의 단축 및 스위칭 손실이 새로운 문제로 지적되고 있다.

2.3 SI-Transistor/ Thyristor

SI(Static Induction)소자는 접합게이트에 인가하는 전압에 의해 에미터전류를 제어하는 전압제어형 소자로서, SI-Transistor는 수10MHz의 고주파 발진기나 증폭기등에 이용되는 고속용소자인 한편, SI-Thyristor는 고내압용으로 적합하고, GTO보다 고속이며 dv/dt 및 di/dt 내량이 우수하기 때문에 고내압·고속의 스위칭로 인버터 등에 주로 사용되고있다.

현재 4kV/400A의 역도통 SI 싸이리스터가 사용되고 있

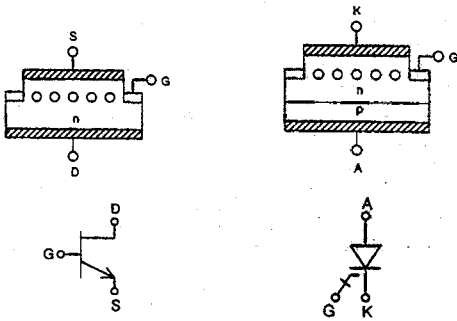
표 5. 전력변환용 파워 반도체소자의 종합평가 (각 항목별 5점 만점 기준)

내압	5	4	2	4	4	4	3
dt/dv 내량	2	3	4	4	5	4	4
전류내량	5	4	1	4	5	4	2
도통시 포화전압	5	4	1	3	5	4	1
입력 임피던스	1	1	5	5	5	3	4
Turn-off에 필요한 에너지	1	2	5	5	5	2	4
허용 주파수	1	2	5	4	3	3	5
cost	1	5	4	4	2	2	4
공급상황	3	5	4	4	3	2	2
Total	24	30	31	31	37	28	29

지만 4.5kV/1kA급 용량의 소자의 개발을 목전에 두고 있다.

그림 2에 SIT, SI 사이리스터의 구조와 심볼을 나타낸다. 그림 3은 SI 파워 반도체소자의 전력과 주파수에 관한 적용범위를 나타내며, 특히 B-SIT는 SIT와 불순물 농도가 다를 뿐 같은 구조로 되어있으며, 이러한 SIT의 특징을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 유니폴라 스위치로써 태일전류가 작고, 고속 스위칭 동작이 가능하다
- 고내압/대용량의 제품제작이 가능 하고, 전력밀도를 높일 수 있다.
- 파워 MOSFET와 비교해서 온저항이 크고 도통손실도 많지만, SIT는 게이트 전압을 정으로 바이어스결면 도통시의 전압강하에 따른 손실의 저감이 가능하다. 또한, SIT는 병렬접속이 용이함으로써, 병렬 합성저항을 저하시킬 수 있어 대전류화가 가능하다.



(a) n채널SIT (b) n채널SI 사이리스터
그림 2. 각종SI 소자의 구조 및 심볼

- 파워 MOSFET과 비교해 채널부분의 구조가 단순하므로 전류저지에 강하다.
- 구동·보호회로가 복잡 해진다.

SIT는 이러한 특징에 의해, 정격이 큰 소자는 주파수가 100kHz~400kHz대의 대전력 인버터에 사용되며, 특히 고주파특성을 개선한 소자는 MHz대의 고주파 인버터에 사용이 가능하다.

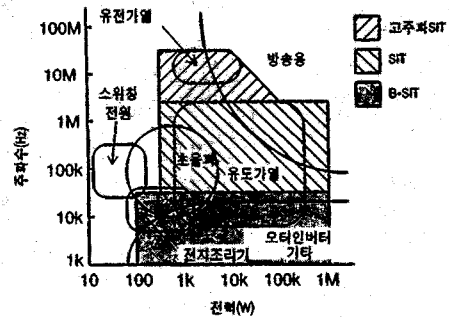


그림 3. SI 파워 반도체소자의 응용범위

또한 현재 SIT트랜지스터 모듈 및 드라이브유닛등이 시판되고있어 손쉽게 이용 가능하다.

SI 사이리스터는 MOSFET와 비교해서 IGBT와 같은 SIT의 드레인층에 pn접합을 추가한 구조의 소자로서 SIT에 비해 스위칭 속도는 늦지만 도통손실이 작다. 그러나 구동회로의 복잡성으로 인하여 제조단가가 다소 비싸다.

B-SIT는 SIT의 채널 부근의 캐리어 농도를 변경해서 노말온으로한 파워소자로서 게이트를 정전압으로 구동하여 바이폴라모드로 동작시키는 것으로써 스위칭 속도는 SIT보다 느리지만 도통손실이 상당히 작아 배터리 구동의 대전력 스위치모드 전력변환장치로의 응용등, 소용량 고성능 고주파 인버터 및 DC-DC 컨버터, 고주파SMR 등의 분야에 응용이 기대된다.

2.4 Power-MOSFET

전력용 MOS 전계효과 트랜지스터인 Power-MOS는 스위칭전원 용도를 중심으로 폭넓게 사용되는 소자로서, 그 특징 및 용도를 아래와 같이 요약할 수 있다.

▲Power-MOS의 특징

- 스위칭 속도가 빠르며, 100kHz 이상의 주파수대 영역에서 효율적 사용이 가능하다.

- 안전동작영역(Area of Safety Operation)이 넓다.
- 고내압이되면 on저항이 급격히 높아져서 사용영역이 600V 전후로 제한된다.
- 입력용량이 크고 MOS게이트 파워 반도체소자 중에서 구동전력이 가장 크다.
- 내압이 200V이상의 제품에서는 온저항이 상당히 낮아 IGBT, MCT보다도 도통손실이 적어진다.
- 온저항은 負의 온도계수를 가지므로 병렬접속시 전류집중의 문제가 일어나지 않는다.

▲Power-MOS의 용도

- 스위칭 전원
- DC-DC Converter
- 조명용 전자 밸런스
- 디스플레이 모니터 전력변환장치
- 무정전 전원공급장치
- 모터 제어용 인버터 등 여러분야에 이용되고 있다.

이상의 특징을 갖는 Power-MOSFET의 기본구조는 당초에 V또는 U구름으로 불리는 구조로 개발되었지만, 현재에는 밀집한 셀 형상의 소스구조를 갖는 그림 4와 같은 중형 DMOS구조가 주류를 이루고 있다.

Power-MOS의 온저항은 해를 거듭할수록 저감되고 있는데 이것은 LSI의 미세 가공기술의 적용에 의한 것으로 최근, 60V 소자에서 1mΩ·cm이하의 소자가 생산되고 있다. 그러나 저전압 회로에서는 파워소자의 온저항에 의한 손실이 중요한 문제로 대두됨에 따라 보다 낮은 온저항의 소자개발이 진행되고 있다.

2.5 IGBT

MOS는 고내압화 하면 온저항이 급속히 커지는 문제가 있어서 200V정도가 실용의 한계로 보고 있는 반면, IGBT (Isulated Gate Bipolar Transistor)는 MOS에 비해 온저항이 낮지만 MOS와 동등의 전압제어특성을 지니고 있으며, 또한 스위칭특성에서는 MOS보다는 늦지만 바이폴라 트랜지스터나 GTO보다 빠른 이점으로 인해 중소용량의 인버터를 중심으로 산업용에서부터 일반가정용에 까지 폭넓게 사용되고 있다.

스위칭시간과 온전압의 트레이오프 또한, 소자설계의 개량과 패턴의 미세화등 개선이 진전되어 600V소자에서 온전압이 초기 소자의 1/2정도 까지 저감되었다.

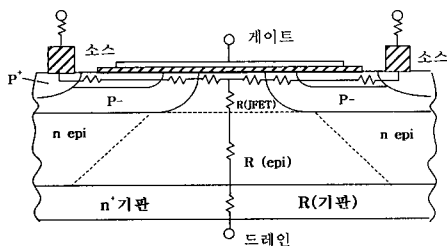


그림 4. 중형 DMOS MOSFET 셀 단면

IGBT는 MOS와 같이 LSI 미세가공기술을 사용하기위해 현재 칩 크기가 15mm²정도로 제한하고 있다. 더욱이 IGBT는 병렬동작이 용이하므로 복수개의 칩을 병렬접속하여 일체화한 모듈형으로 대용량화에 대응가능하다.

모듈화에 있어서 단순히 복수의 IGBT칩을 병렬접속한 것이 아니라 다이오드 및 각종 보호회로를 포함한 IPM (Intelligent Power Module) 화 되고 있으며, 실장설계에 있어서도 표류인덕턴스나 열저항을 저감하기위한 새로운 기술이 속속 개발되고 있다.

이상의 제2장에서 논한 각 소자들의 특성개선 동향을 표 6에 요약하였다.

표 6. 각 소자의 성능개선 동향

DEVICE	개선 요인사항	기술동향
DIODE	· 리버스 리커버리time · 소프트 리커버리	· 복합 디바이스 · 3단자 디바이스
BJT	· SOA의 확대 · 높은 게인	· 저항 밸런스cell · 고집적셀 · 와이드밴드갭 emitter
MOSFET	· 높은 온저항 · 기생용량	· 고집적cell · 드라이버 내장
IGBT	· 테일전류 · 온전압 · SOA의 확대	· 고집적cell · 보호기능
MCT	· 턴오프 time · 턴오프능력 · SOA의 확대	· fast turn-off cell, life time controller · 고집적cell

새로운 개념의 디바이스

3. 파워 스위칭소자의 豫測기술 및 이용時 유의점

본 장에서는 각 파워 스위칭소자에 대응하는 파워소자의 최신 기술동향과 가장 일반적으로 사용되는 Power MOSFET 및 IGBT소자의 이용시 유의점 및 장래 예측기술에 대해 간단히 서술하기로 한다.

3.1 Thyristor/ GTO

싸이리스터 및 GTO는 아노드와 캐소드의 양측에 에미터로 부터 주입된 소수캐리어에 의해 고저항 베이스층의 전도도변조에 의해 고내압화 하더라도 온전압은 크게 증가하지 않는 특징이 있다. 내압을 증가시키기 위해 고저항 베이스층을 증가시키면 도통시 온전압이 증가하는 PT형(prnpn) 접합은 온전압의 증가를 피할 수 있지만 이것 역시 한계가 있으므로 웨이퍼의 지름을 크게해서 전류밀도를 낮출 필요가 있다.

현재 사이리스터의 최대용량은 8kV/4kA로 직경 150mm의 실리콘결정을 사용하고 있으며 같은 크기의 웨이퍼를 사용해서 6kV/6kA의 GTO의 실용화 및 앞으로의 200mm 웨이퍼 적용문제 등 어디까지 웨이퍼의 지름을 대형화 할 것인가에 대해서 생각해 보아야 할 것이다.

스위치의 고속화 또한 온전압과 밀접한 관계에 있다. 온전압을 낮추기 위해 캐리어를 고저항 층으로 충분히 주입하여 저항을 낮출 필요가 있지만 문제는 이 캐리어가 턴오프 시간을 길게 만든다는 것이다.

최근 캐리어분포를 최적화하기 위한 하나의 시도로 그림 5의 GTO Thyristor를 예로들어 살펴보기로 한다. 소수 캐리어가 아노드와 캐소드 양단의 에미터로부터 주입되어지기 위해 양단의 밀도가 높은 것이 사이리스터계의 특징이다.

종래에는 턴오프 시간의 단축을 위해 급 등의 증속속의 첨가 혹은 전자선을 照射하였지만 이러한 방법은 저항층내의 캐리어 라이프타임을 감소시켜 캐리어밀도가 낮아지고 온전압이 크게 증가하였다.

최근에는 양자 혹은 헬륨이온 등의 무거운 입자를 사용하여 高比저항층의 소망의 위치에 결합중심을 집중적으로 발생시켜 라이프타임을 조정 가능하게 되었고, 또한 아노드층의 불순물농도를 낮추어 결합의 깊이를 수 μm 정도로 얇게 하여 정공의 주입농도를 저감함과 동시에 스위치의 턴오프時 전자가 투과하기 쉽게 하는 방법이 검토되고 있다. 실제로 에미터를 채용한 PT type GTO의 턴오프손실 및 온전압이 종래구조(NPT형 GTO)에 비해 약 1/2로 저감 가능하다는 연구가 발표되었다.⁽³⁾

캐리어분포의 최적화에 의한 특성개선은 GTO뿐만이 아니라 IGBT 및 Diode를 포함한 모든 Bipolar소자에 적용 가능하다.

한편, GTO의 턴오프시 주전류를 모두 게이트전극에 흘려보내 게이트회로의 인덕턴스를 종래의 GTO의 1/10로 저감한 GCT(Gate Commutated Turn-off)가 개발됨에 따라 캐소드측에 축적되어져 있는 캐리어의 저장시간을 짧게 하는 것이 가능해지고 턴오프의 축적시간이 단축되어 소자의 차단능력을 향상시킴과 동시에 스너버용량의 저감 등으로 인하여 시스템의 손실을 크게 개선할 수 있다.

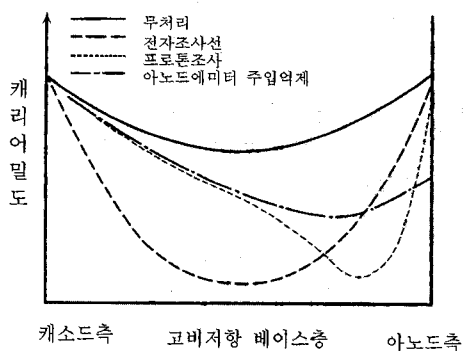
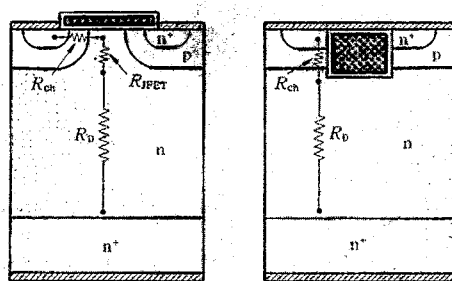


그림 5. 高比저항층내의 캐리어분포



DMOS(플레나形) UMOS(트렌치形)
그림 6. DMOS와 UMOS의 저항성분

3.2 Power MOS

Power MOS에서의 온저항은 그림 6과 같이 DMOS에서는 채널저항, 기생 JFET부의 저항 및 드레인층의 저항으로 구성되어 있다.

중형MOS에서는 하나의 칩내에 단위셀을 다수개 병렬로 적층한 상태로 제작기 칩 전체의 전류를 분담하는 구조로 온저항 저감을 위해 채널저항의 저감과 동시에 칩의 단위 면적당 채널밀도를 높여 채널당 전류값을 낮출 필요가 있다. 이보다 온저항을 보다 더 저감 가능한 구조인 UMOS는 채널저항의 증가없이 기생 JFET 값만큼 저항이 감소한다.

만일 채널저항 이외의 저항을 '0'로 할 수 있다해도 내압의 결정에 필요한 드레인층의 비저항과 두께를 결정짓는 온저항은 존재한다.

일반적으로 다수캐리어소자의 온저항의 하한값 R_{min} 은 $R_{min} = 4V_b^2 / \epsilon \mu E_c^3$ (V_b : 내압, ϵ : 투자율, μ : 캐리어 이동도, E_c : 임계과피 전계강도)이고, 이때 저항의 하한값은 드레인층만의 저항값일 뿐 실제로는 기판부분 및 전극부분 등의 저항도 존재하므로 실용적 MOS의 온저항저감의 한라고 생각할 수 있다.

사진 2에 제5세대(면적 1인치당 700백만개의 셀) 마스크 프로세스의 구성을 보여주고 있는데 이것은 트렌치에 비해 스텝수가 적으므로 코스트대응이 가능하고 칩의 면적을 최대한 확대하여 본당의 집적저항 저감에 유리한 것으로 판단됨에 따라 현재 가장 활발히 연구되고 있다.

Power-MOSFET가 스위칭전원 용도로 개발된지 20여년 이된 지금 소자의 미세화 및 최적화가 진행되어 구동회로를 내장한 제품이 일반적으로 사용되고있는 현재 소자의 선정시 유의점을 다음의 3가지로 요약해 보기로 한다.

① Drive 회로

드라이브회로의 손실 계산시 게이트차지 특성을 사용하여 아래의 식으로 손실을 구할 수 있다.

$$Drive\ 손실 = f \times Q_g \times V_{CS}$$

(f : 동작주파수, Q_g : gate-charge량, V_{CS} : gate-source간 전압) 게이트차지량(Q_g)은 드라이브하는 게이트 소스간 전압값으로 특성그래프로부터 읽어낼 수 있다. 또한 드라이브손실과 게이트에 직렬로 삽입하는 저항값으로부터 드라이브회

로의 출력단에 흐르는 전류값을 구하여 이 값으로부터 출력단에 사용하는 트랜지스터등의 용량을 정한다.

드라이브회로의 기동 및 정지시 출력이 고임피던스화 되는 경우, 게이트-소스간에 저항을 접속하여 소자의 파괴를 방지하거나, 1차측 제어용 IC를 사용하여 드라이브 회로설계를 할 수 있다.

② Avalanche보증

MOSFET를 사용하는 회로에서 인덕턴스를 스위칭하는 경우 턴오프시 역기전력이 발생하고, 이때의 전압이 FET의 정격전압을 넘는 경우 소자가 파괴될 위험이 높아진다. FET는 온저항을 낮출 목적으로 정격압력에 대한 내압설계에 여유가 없으므로 사용상 주의가 요구된다. 현재 시판되는 소자는 Avalanche보증을 하고 있지만 Avalanche보증에 따라 정격내압을 넘지않는다 하더라도 전류값이나 손실이 보증값을 넘지 않도록 주의해야한다.

③ 기생 다이오드 동작

인버터등의 장치에서 기생다이오드를 FWD로 사용시, FET에 발생하는 손실은 FET 및 다이오드의 온손실과 스위칭손실을 생각할 수 있다. 이때 다이오드의 온손실은 FET를 온 시킴으로써 저감 가능하지만, 스위칭손실은 기생다이오드의 역회복특성에 좌우된다.

FET에는 기생 바이폴라 트랜지스터가 존재하므로 다이오드 스위칭시 높은 vd/dt 에 의해 기생 바이폴라 트랜지스터가 오동작하여 FET가 파괴될 수도 있으므로 dv/dt 를 낮추어 소자를 보호할 수 있지만 소자의 고주파화에 문제가 생기므로 실제 인버터회로의 설계시 가능한한 다이오드의 역회복 특성 및 역회복내량을 향상시킨 소자를 선정 사용해야한다.

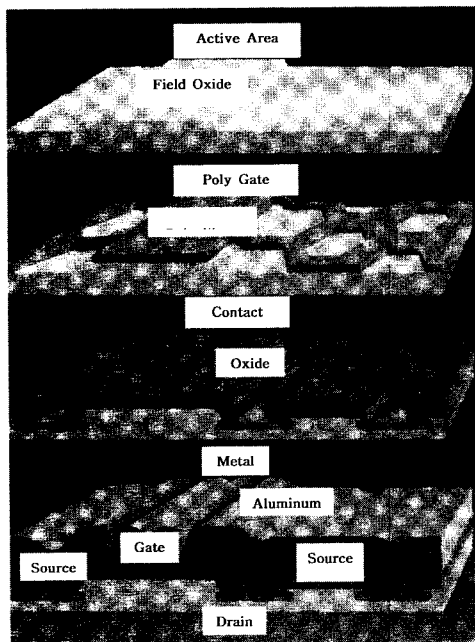


그림 7. 마스크 프로세서

3.3 IGBT / 절연 Gate-Thyristor

IGBT는 내압 3kV 이상의 싸이리스터에 비해 온전압이 크지만 이것은 IGBT의 n베이스 층의 전도도변조가 아노드측으로부터 주입되는 정공에 의해 일어나고, 캐소드측에서는 캐리어농도가 저하하기 때문이다. 또한, IGBT에서도 MOS부분의 저항을 감소시키기 위해 Power MOS에서와 같이 미세가공에 의해 온전압이 약간 감소한다. 또한 트랜치게이트의 적용에 의해서도 온전압이 감소하지만 이것은 n베이스층의 캐소드측에서도 캐리어농도가 증가하여 캐리어부분포의 형태가 싸이리스터와 유사하게 되므로 IGBT를 고내압화 하여도 GTO정도로 온전압을 억제할 수 있음을 알 수 있다.

이러한 효과를 적극적으로 이용하기 위해 트랜치의 폭, 간격, 깊이등을 최적화한 IEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)와 트랜치의 저부에 n층을 부가한 CSTBT(Carrier Stored Trench-gate Bipolar Transistor)등이 개발되어졌다.

한편 IGBT는 고내압화에 노력함과 동시에 게이트를 MOS화한 절연 Gate-Thyristor에 눈을 돌리고있다. 이것은 소자의 기본적 부분에는 싸이리스터 동작을 적용시켜 온전압의 저감을 도모함과 동시에 게이트를 MOS화하여 전압제어형의 잇점을 구비한 소자의 개발이 그 목적으로, 실제 MCT(MOS Controlled Thyristor)가 개발되어진 이래 BRT(Base Resistance Controlled Thyristor) 및 EST(Emitter Switched Thyristor)를 필두로 복합소자가 속속 개발 진행되고있다.⁽⁴⁾

이러한 복합소자들은 싸이리스터의 캐소드·에미터를 MOS로 단락하는 것 또는 싸이리스터와 직렬로 MOS를 구성하여 턴오프時 MOS로 주전류를 차단함과 동시에 또 다른 MOS게이트에서 베이스 층의 캐리어의 지연시간을 짧게 해주는 것을 그 원리로 하고있다.

IGBT를 안전하게 사용하기위한 유의점을 아래와같이 요약할 수 있다

① 드라이브회로

기본적으로 소자를 확실히 온/오프시켜야만 소자 자체의 성능을 완전히 이용할 수 있다. 구동전력이나 게이트저항 그리고 절연용으로 사용되는 포토커플러의 지연시간과 구동전력도 충분히 주의하여 선정할 필요가 있다.

② 게이트신호의 진동방지

가능한한 배선인덕턴스의 단축 및 게이트저항의 최적화에 유의할 것.

③ 과전류보호

이상현상에 의한 과전류에 대해 정해진 시간안에 확실한 보호기능을 동작시켜야한다.

④ 병렬운전

대전류화를 목적으로 병렬운전 할 때, 전류등의 밸런스를 충분히 고려해야한다.

4 와이드갭 반도체

이상의 각 소자의 특성개선이 진행되고 있지만 대폭적인 특성개선을 위해 새로운 소자 즉, 반도체재료 자체를 변화시키려고 하는 움직임이 일고있다.

3.2절에서의 다수캐리어의 온저항의 하한값의 분모를 *Baliga*의 성능계수($\epsilon \mu Ec^3$)라고 하는데 이것은 재료 고유의 값으로 이 값이 큰 재료를 선택함으로써 현재 실리콘 MOS의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 제시되고있다.

이러한 관점에서 최근 SiC, GaN, 다이아몬드 등의 와이드밴드갭의 반도체가 주목을 받고있으며, 그 한 예로, SiC의 성능계수는 실리콘의 약 200배 이지만, 이와 동일한 내압이라면 SiC의 온저항은 실리콘의 약 1/200이 되고, 같은 온저항이라면 내압은 약 14배가 된다. 이러한 와이드 갭 반도체는 고온환경에서의 사용가능성으로 인하여 급속히 SiC 결정 중심으로 연구가 급속히 진행되고 있다.

5. 결 론

다가오는 21세기의 고도정보사회를 지탱하는 전기에너지는 세계적으로 수요의 증대에 따른 다양한 사용목적에 의한 원활한 전력의 변환, 제어기술 및 전력변환시의 손실문제 해결, 에너지이용의 고효율화가 중요시됨에 따라 파워

엘렉트로닉스 기술이 그 영역을 크게 넓혀가고 있다. 더욱이 지구의 온난화라는 환경문제가 크게 제기되고 있는 현재, 미래사회를 지탱할 수 있는 중요기술의 하나로써 전력전자기술의 핵심인 전력변환용 반도체소자에 거는 기대는 더 한층 강해지고 있다.

이러한 요구에 부응하기 위해 개개의 소자성능향상이 아닌 시스템전체의 에너지효율 향상이라는 관점에서 전력변환용 소자개발과 전력변환시스템의 연계개발에 보다 밀접한 관계를 유지해야함은 당연한 것이다.

참고문헌

- [1] 金龍柱, "高周波共振形電力變換制御裝置と特性評價に関する研究" KOBE大學博士論文, 1996.
- [2] 岡村 昌弘, "最近のパワーデバイスの動向", 電氣學會誌, Vol. 118, 1998.
- [3] S. Eicher, etc, "Punch through type GTO with Buffer Layer and Homogenous Low Efficiency Anode Structure", Proc .ISPSD'96, 261, 1996.
- [4] B. J. Baliga, "Trends in Power Semiconductor Devices", IEEE Trans. ED, 43, 1717, 1996.
- [5] 電子技術, 日刊工業新聞社, Vol. 39, No. 10, 1997.
- [6] 金谷正敏, 他, "ワイドギャップ・半導體シリコンカーバイドのバルク單結晶成長", 應用物理 Vol.64, 1995.
- [7] B. J. Baliga, "Trends in Power Semiconductor Devices", IEEE Trans. ED 43, 1996.

저 자 소 개



김용주(金龍柱)

1960년 3월 19일생. 1984년 건국대 전기공학과 졸업(학사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 한국 동력자원연구소 위촉연구원. 1995년 일본 전자산업학회 학술 조사위원. 1996년 일본 고베대학 대학원 졸업(공학박사). 1996년 삼성전관 선임연구원. 현재 특허청 반도체1과 심사관



김성배(金成培)

1959년 2월 17일생. 1987년 한양대 전자공학과 졸업(학사) 1986년 22회 기술고시. 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995~1997년 미국 사우스캐롤라이나대학 J.D.. 현재 특허청 심사4국 반도체1과장