

# 21세기를 향한 파워디바이스技術

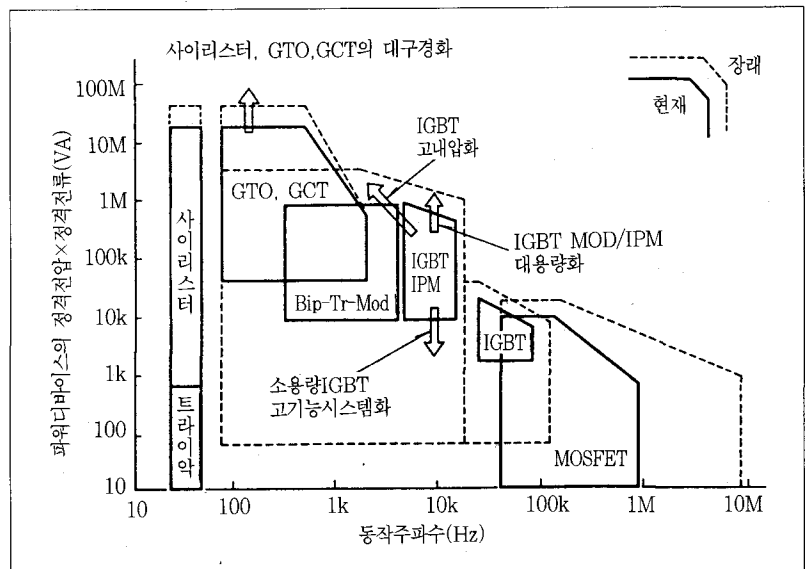
## 1. 머리말

다가오는 21세기는 멀티미디어가 발달한 고도정보화 사회가 되고 에너지 소비가 대폭 확대되면서, 한편으로는 환경문제가 더욱 활발하게 검토되어 지구와 사람에게 친근한 환경만들기가 진전되어 갈 것으로 생각된다. 이와 같은 사회환경의 변화는 쉘에너지의 추진, 클린에너지의 요구, 고조파나 레디오노이즈 규제 등 반도체 파워디바이스에 있어서도 대단히 큰 변혁이 예상되고 있다.

파워디바이스가 활약하는 파워일렉트로닉스 분야에서는 "인버터化"를 키워드로 하여 최근에 현저한 발전을 하여 왔다. 인버터에어컨과 형광등인버터 등으로 가정에 완전히 침투한 인버터는 최근, 냉장고, 세탁기, 청소기 등 가정에서의 응용분야를 더욱 확대시키고 있는 것과 동시에 컴퓨터의 무정전전원, 엘리베이터, 범용인버터, 로봇 등의 공장

설비, 전기자동차, 전차, 新幹線, 태양광발전, 풍력발전 등 가정·정보·산업·교통·전력의 각 분야에서 확실하게 응용분야를 확대하고 있다.

그림 1에 파워디바이스의 제품동향을 용량(정격전압×정격전류)과 각종 응용분야에서의 동작주파수와



〈그림 1〉 파워디바이스의 제품동향

관계로 표시한다.

파워디바이스의 MOS게이트化가 진전되고 있는 가운데, 특히 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)가 고속스위칭이 가능하고 전압·전류 정격도 거의 종래의 바이폴라 트랜지스터와 동등 이상의 용량이 실현 가능하게 된 점에서 주목을 받게 되었다. 또한 미세화·고성능화의 기술혁신으로 세대교체가 쌓이면서 인버터장치 등 산업기기의 소형화·고성능화에 큰 충격을 주고 있다. 또 파워디바이스는 성능향상에만 머물지 않고 사용의 용이성을 추구하는 시스템화의 움직임이 나타나고 있다. IPM(Intelligent Power Module)과 파워IC가 그 대표적인 것으로서 파워디바이스에 구동·보호·고장진단·통신회로 등을 1모듈 또는 1칩으로 구성함으로써 응용장치의 소형화·고성능화에 크게 공헌하고 있다.

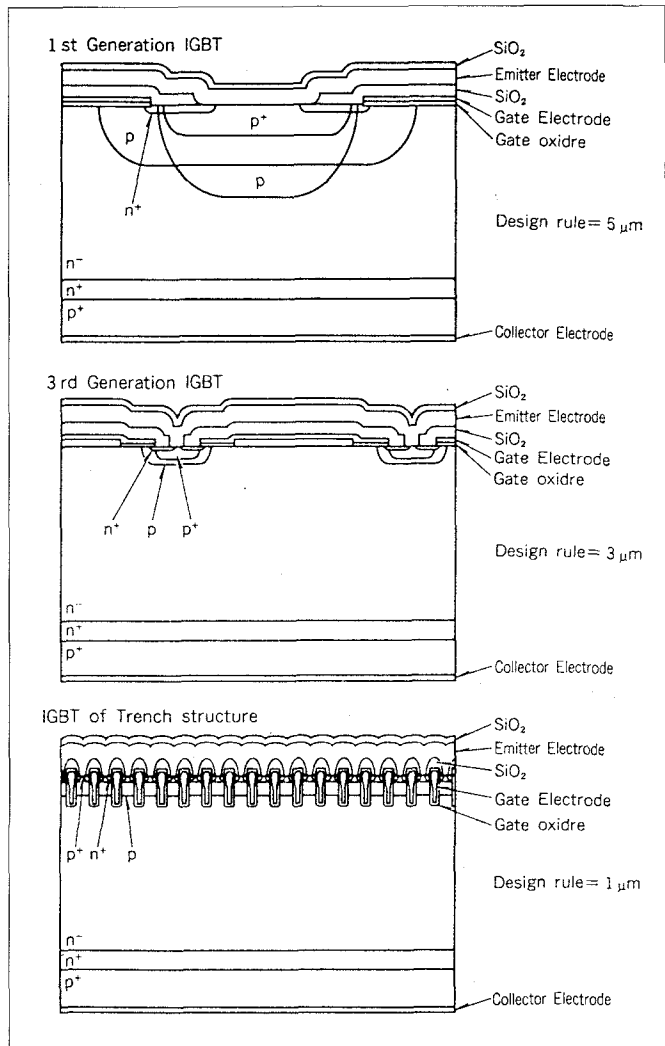
한편 그림에서와 같이 공업용 대용량인버터나 전력·전철 시장의 요구에 의한 GTO사이리스터의大口徑化와 IGBT의 고내압·대용량화의 움직임이 활발해지고 있다. 이와 같이 파워디바이스의 동향을 살펴보면 저손실화를 위한 MOS게이트화와 파워디바이스를 고효율로 사용하기 위한 시스템화 및 대용량화의 방향으로 나아가고 있다고 할 수 있다.

## 2. 파워디바이스의 MOS게이트化의 동향

인버터의 고주파화와 소형화 요구에 따라 파워디바이스는 고속스위칭이 가능하고, 또한 전압구동으로 구동회로의 저손실화를 기할 수 있는 MOS게이트 디바이스가 주목되고 있다. 저전류영역에서는 파워MOSFET가 이미 스위칭전원과 소형모터제어 등의 응용분야에서 많은 실적을 나타내고 있다. 나아가 On抵抗의 저감과 高애벌랜치 耐量化 등의 개량이 진전되고 있다.

특히 저전압영역의 MOSFET는 컴퓨터시물레이션기술과 미세가공기술의 발전으로 셀의 집적화가 진전되어 低 On抵抗化가 진행되고 있다. 특필할 것은 150V 이하에서 트랜치구조의 파워 MOSFET가 개발됨에 따라 低온抵抗化가 더욱 진전되어 실리콘의 限界에 가까워지고 있다는 것이다.

범용인버터, AC서보, UPS(무정전전원장치) 등에 사용되는 中·大容量의 영역에서는 IGBT 성능은 제1



〈그림 2〉 IGBT 칩의 변천

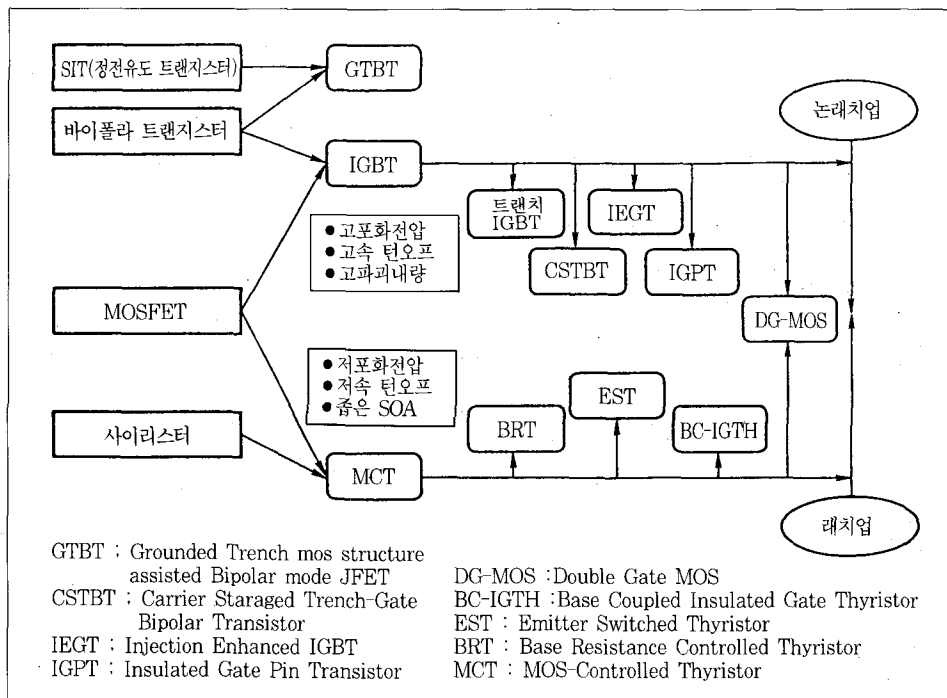
세대로부터 제3세대애로의 移行으로 대폭적인 성능개선이 실현되었다. 이 진보의 배경에는 LSI의 미세가공 기술이 크게 기여하고 있다. 그러나 현재 평면형상의 셀구조로는 이미 성능개선에 한계가 있으며, 이 이상의 전류밀도 증가는 바랄 수 없다는 정도까지 이르렀다. 그래서 차세대 IGBT로서 채널부를 종으로 한 트렌치 구조가 개발되고 있다. 트렌치구조는 실리콘상에 홈을 파고 그 홈의 측면에 채널을 설치, 溝內에 게이트전극을 형성한 구조로 되어 있다. 이 구조의 채용으로 전류밀도가 비약적으로 향상된다. 그림 2에 IGBT칩의 변천모습을 표시한다. 또 1,200V 이상의 IGBT인 경우에는 NPT(Non-Punch Through)타입의 실용화와 나아가 성능향상을 목표로 각종의 새로운 구조다바이스에 대한 연구도 진전되고 있다. 그림 3에 신구조파워MOS 게이트다바이스의 분류와 발전에 대하여 표시한다. 지금까지는 사용하기 쉬운 것이나 성능의 양면에서 IGBT를

능가하는 소자는 출현하고 있지 않으나 IEGT, CSTBT 등 캐리어 분포제어에 의한 성능향상의 어프로치를 하고 있다.

### 3. 파워모듈 패키지의 동향

파워모듈이란 여러 개의 파워반도체칩을 용도와 목적에 따라 결선하여 하나의 패키지에 넣은 복합형 반도체를 말한다. 이 파워모듈도 IGBT나 IGBT칩을 사용한 IPM의 등장과 함께 그 패키지도 점차로 발전하고 있다.

파워모듈의 패키지에서 그것의 최대 특징인 방열과 내부절연을 유지하기 위한 절연기판 구조의 발전을 그림 4에 표시한다. 절연기판은 트랜지스터모듈 개발초기에는 알루미늄나세라믹( $Al_2O_3$ ) 절연기판을 채용하였으나 최근의 IGBT모듈에서는 AIN이나  $Al_2O_3$ 의 厚銅箔 絶



〈그림 3〉 신구조 파워MOS 게이트다바이스의 발전

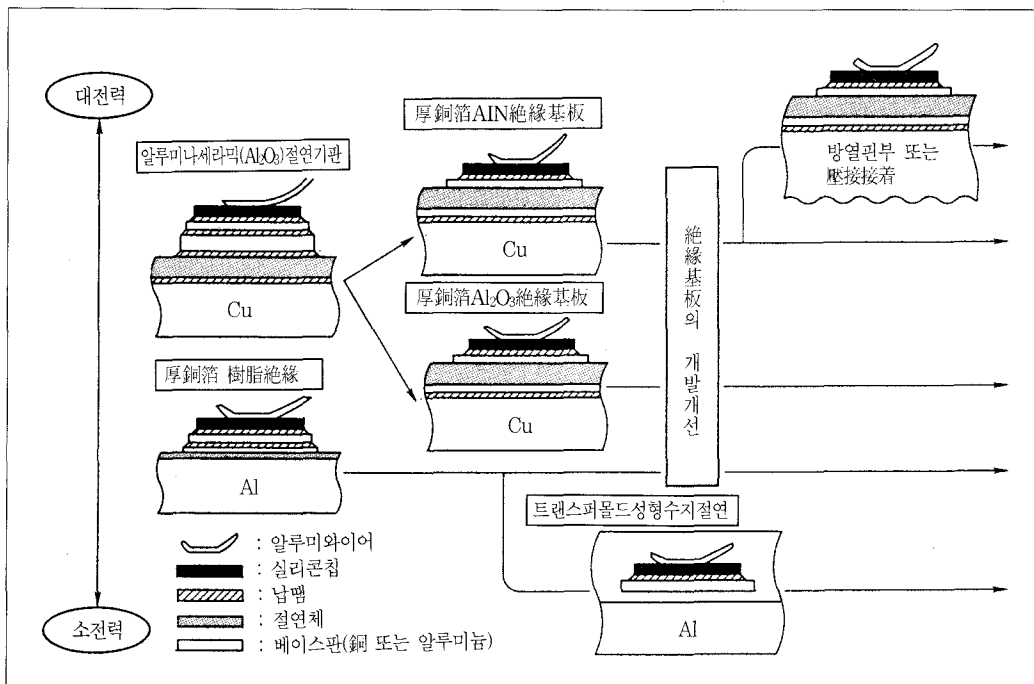
緣基板이 中容量 이상의 모듈에 채용되어 납땜층의 삭감으로 파워사이클 등의 신뢰성의 향상을 도모하고 있다. 소용량모듈의 경우에는 厚銅箔 樹脂絶緣基板이나 트랜스퍼몰드成形 樹脂絶緣이 채용되고 있다. 抵熱저항 절연기관의 개발·개선과 壓接技術의 도입 등으로 신뢰성 향상에의 기대가 높아지고 있다.

파워모듈의 패키지기술은 단지 칩을 물리적으로 보호하는 것 뿐만 아니라 적극적으로 패키지기술을 활용하여 칩의 성능향상에 유익하게 하려는 움직임도 있으며 성능개선, 코스트저감, 사용의 용이성 추구 및 신뢰성의 향상 등, 각 방면에서 IPM의 패키지기술의 도전이 전개되고 있다. 성능개선의 한 예를 들어보면 대용량파워모듈에서는 IGBT의 고속동작에 의하여 서지전압을 억제할 목적으로 내부인덕턴스를 저감하는 전극구조가 채용되게 되었다. 코스트저감대책으로서는 중용량 이상의 IPM의 2층구조를 IC의 강화와 부품수의 삭감에 의

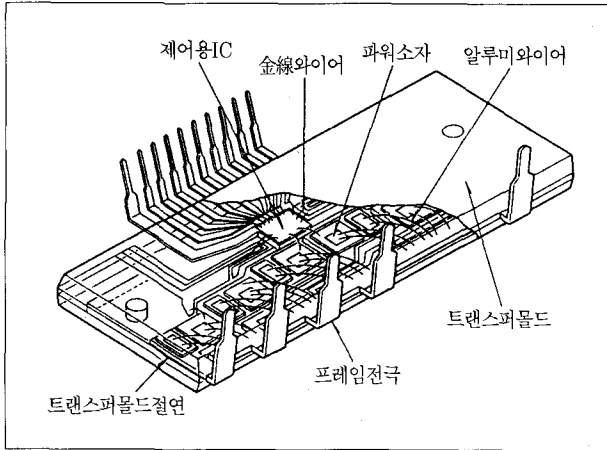
하여 1층화하는 방법과 소용량분야에서는 파워칩(IGBT, 프리호일 다이오드)과 제어용 IC(HVIC, LVIC)를 동일프레임 위에서 베어칩상태로 탑재하여 리드프레임과 히트싱크를 고열전도수지로 트랜스퍼 몰드한 DIP(Dual-In-Line Package)형의 IPM(그림 5 참조)도 출현되어 가전제품 등의 응용에의 전개가 기대되고 있다.

#### 4. 인텔리전트화의 동향

파워디바이스의 인텔리전트화를 추진하는데 중요한 기술의 하나로 제어용IC의 설계기술이 있다. 현재의 IPM은 LVIC(저압IC)기술로 구동회로와 보호회로가 집적되어 앞으로 더욱 많은 주변부품을 넣는 형태로 집적화가 진전되는 한편, 고전위측(P측)의 IC는 현재 같은 구조의 IC가 사용되고 있어 절연에는 포트커플러와



〈그림 4〉 파워모듈의 절연기관의 발전

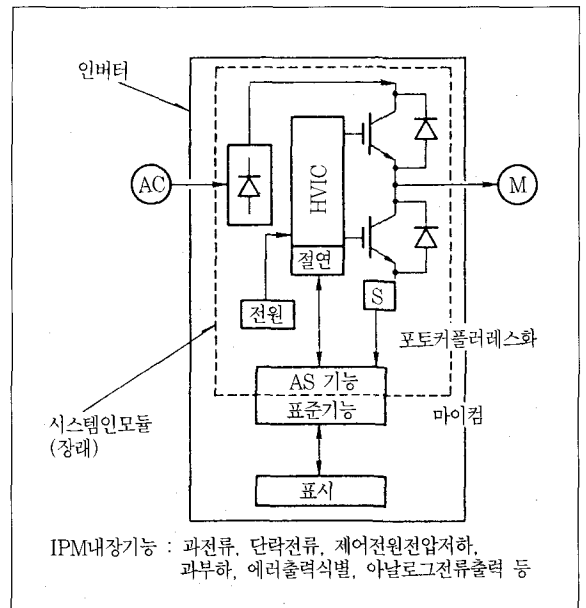


〈그림 5〉 DIP형 IPM의 구조

필스트랜스를 필요로 한다. 최근 실리콘칩상에서 회로 절연하는 HVIC(고압 IC)가 개발되어 실용화되게 되었다. HVIC에는 종래의 기능에 더하여 고전위층에의 신호전달을 위한 레벨시프트회로와 고전위층의 전원을 확보하기 위한 부트스트랩회로 등이 집적된다. 또 HVIC의 절연을 실현하기 위한 분리기술로서는 接合分離와 誘電體分離技術이 있다. 아직은 양쪽 다 600V의 절연이 주류이나 1,200V에의 도전도 진행되고 있다.

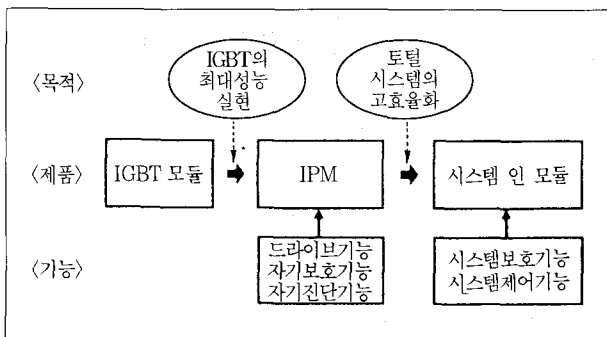
21세기를 향한 차세대IPM은 전술한 파워칩, 제어용 IC 및 각각의 패키지 기술이 시장니즈를 수용하여 보다 밀접하게 융합되어 파워칩은 보다 저손실방향으로 추진되고, 시스템화에 있어서는 그림 6에 표시하는 것과 같

이 토털시스템의 고효율화를 지향하는 시스템인모듈의 방향으로 나아갈 것으로 생각된다. 또한 그로 인한 시스템전체의 보호기능과 제어기능이 더욱 요구되어 HVIC의 채용과 제어용IC의 고집적화가 불가피하게 될 것으로 보인다. 예를 들면 용도에 따라 전력아날로그출력, 과전류경보, 접합온도출력, 과전압보호, 래디오노이즈대책 등 여러 가지의 기능과 제어전원 등을 내장한 IPM이 출현할 것이다. 차세대 IPM의 이미지를 그림 7에 표시한다.



〈그림 7〉 차세대 IPM의 이미지

IPM내장기능 : 과전류, 단락전류, 제어전원전압저하, 과부하, 에어출력식별, 아날로그전류출력 등

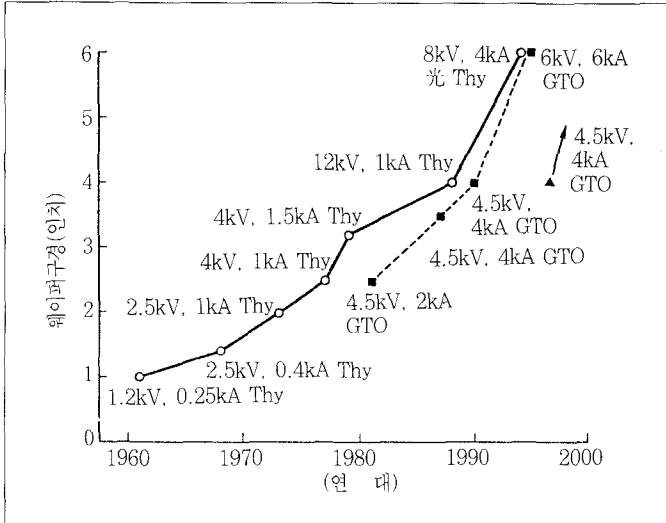


〈그림 6〉 파워디바이스의 시스템화 동향

## 5. 파워디바이스의 大容量化 동향

그림1에 표시한 바와 같이 파워디바이스의 대용량화에는 사이리스터, GTO, GCT(Gate Commutated Turn-off)의 大口經化, IGBT 모듈 및 IPM의 고내압화·대용량화의 움직임이 있다.

전자의 사이리스터, GTO, GCT의 대용량화에서는

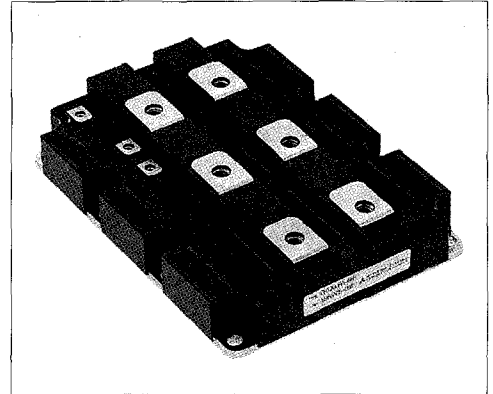


〈그림 8〉 사이리스터, GTO, GCT의 고내압·대용량화의 발전

그림 8에 표시하는 것과 같이 6인치웨이퍼를 채용하여 8kV, 4kV 광사이리스터가 직류송전에 실용화된 외에 6kV, 6kA GTO가 개발되어 철강용 대용량 인버터에 실용화 되었다.

또 최근에 개발된 GCT는 게이트 인덕턴스를 저감한 새로운 구조의 채용으로 축적시간을 종래의 GTO의 약 1/10로 저감한 직병렬접속이 대단히 쉽게 된 것과 스나버회로의 생략 및 토털손실 저감 등의 특징을 발휘하여 GTO에 대신하는 고내압·대용량 디바이스로서 주목되기 시작하였다. 현재 GCT는 4.5kV, 4kA의 정격으로 주파수변환장치 등의 전력응용에 실용화되어 있는데, 장래에 더욱 대구경실리콘을 사용한 대전력GCT의 개발이 전력·철강용인버터 등의 고내압·대용량장치의 소형화·고성능화·고신뢰도화에 크게 공헌할 것으로 생각된다.

한편 후자의 IGBT모듈과 IPM의 고내압화·대용량화에서는 주로 전철이나 클린에너지시장 등의 요구에 의한 것으로 3.3kV, 1.2kA의 IGBT모듈(그림 9 참조)이 이미 시판되게 된 것 외에 그림 3에 표시하는 IEGT 등 4.5kV클래스의 MOS계디바이스에 대한 보



〈그림 9〉 3.3kV, 1.2kA IGBT모듈

고도 있어, 장래 중소용량 GTO 사이리스터에 대체될 디바이스로서 IGBT모듈이나 IPM의 4.5kV클래스 정도까지의 고내압·대용량에의 기대가 높다.

## 6. 맺음말

21세기를 향한 IPM은 파워디바이스로서의 이상을 추구하여 전력손실의 최종적인 저감, 고파괴내량화, 편리성의 추구, 장치의 소형화, 토털시스템의 코스트저감 등의 과제에 앞으로도 끊임없이 도전이 계속될 것이라고 확신한다. 또 시스템화가 더욱 진전되어 시장의 니즈를 받아들인 보다더 시스템에 밀착한 기능이 요구될 것이다. 그렇기 때문에 파워디바이스측과 시스템측의 보다 밀접한 커뮤니케이션에 의하여 더욱 고성능이며 사용하기 쉬운 IPM이 개발되어 새로운 시장의 개척에 크게 공헌할 것으로 기대한다. **ㄱ**

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.