

# ST의 High-Voltage MOSFET 최신 개발 동향

ST의 SiC MOSFET는 2014년부터 대량 생산 중이며, 650V, 1200V, 1700V의 넓은 정격 전압 범위를 갖는다. 탁월한 스위칭 성능 및 최소화된  $R_{ds(on)}$ 과 함께, Tj 기준 200°C까지 견딜 수 있는 매우 우수한 내온 특성으로부터, 대용량 전력변환 시스템의 효율 및 전력밀도 뿐만 아니라 신뢰성을 향상시킬 수 있게 되었다. 그리고, GaN 반도체 소자는 소용량 어댑터로부터 통신/서버 및 전기자동차용 전력변환장치에 적용을 목표로, 현재 650V 및 100V의 Normally-off GaN HEMT로 포트폴리오 확장 중에 있다. 한편, ST의 MDmesh™ 기술을 바탕으로 Super-Junction MOSFET은 최신 반도체 공정 기술 및 Packaging 기술을 접목하여, 전력 용량, 가성비, 효율성, 정격 전압 등의 향상에 노력하고 있다.

## 1. High Voltage MOSFET의 Roadmap

ST의 Super-Junction MOSFET은 Multi-Drain mesh 기술이 적용된 M5, M6/DM6, K5 시리즈가 주력 제품으로 양산 중에 있다. M5 시리즈는 스위칭 손실( $E_{oss}$ )이 작아 Flyback 컨버터 및 PFC Boost 컨버터와 같은 하드-스위칭 토폴로지에 최적화된 MOSFET이다. 최신의 M6/DM6 시리즈는  $R_{ds(on)}$ 과  $Q_g$ 가 작으므로, LLC 공진 컨버터와 같은 Bridge 타입의 영전압 스위칭 토폴로지에 적합하다. 특히, DM6 시리즈는 Fast Recovery Body Diode가 내장됨으로써, Soft Commutation이 가능한 장점이 있으며, Inverter에 적용되는 IGBT를 대체 가능하다. K5 시리즈는 800~1500V의 MOSFET으로서는 높은 정격 전압을 가짐에도, 낮은  $R_{ds(on)}$ 을 갖는다.

향후, M5 시리즈를 대체할 수 있도록 낮은 스위칭 손실( $E_{oss}$ )을 유지하면서도, 동일 Package 기준으로 35% 저감된  $R_{ds(on)}$ 을 갖는 M9 시리즈를 출시할 예정이다. 또한, M9 시리즈 기반으로 Fast Recovery Body Diode가 내장된 DM9 시리즈는 영전압 스위칭 토폴로지에 더욱 최적화된 성능을 가질 것이다. 고전압 대응을 위하여 개발된 K5 시리즈는 향후  $R_{ds(on)}$ 이 60%,  $Q_g$ 가 15% 저감된 K6 시리즈로 업데이트될 것이다. 차세대 MOSFET으로써, ST의 새로운 기술인 Super Trench Mesh 기술이 적용되어 M9 시리즈보다 20% 낮은  $R_{ds(on)}$ 을 갖게 됨으로써, 미래 MOSFET 시장을 주도할 전망이다.

## 2. 신규 Package 개발 현황

### 2.1 TO-LL Package

기존의 D2PAK에 비하여 보드 면적을 30% 저감할 수 있으며, 2.7mm의 긴 Creepage Distance를 가지므로 High-Voltage MOSFET에 적합하다. 또한, 작은 부피지만 그림 3과 같이 D2PAK과 유사한 방열 특성을 가진다. Kelvin Source 적용을 통해 Source의 기생 인덕턴스가 효율을 떨어뜨리는 악영향을 제거하여 고부하 시 효율 향상을 얻을 수 있다. 현재, 600/650V 정격 전압을 갖는 M6/DM6 시리즈에 대하여

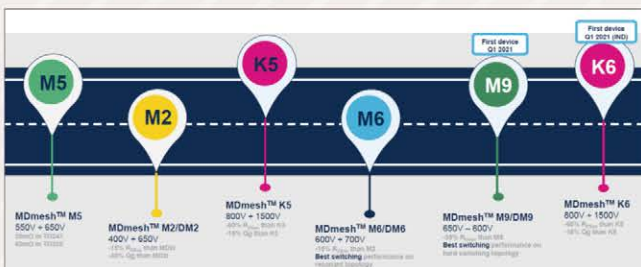


그림 1 ST High-Voltage MOSFET의 Roadmap



그림 2 TO-LL과 D2PAK의 보드 면적 비교

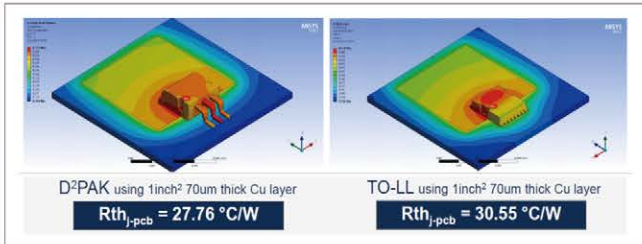


그림 3 TO-LL과 D2PAK의 Thermal Resistance 비교

다양한 Line-up의 제품이 출시 중이며, 추후 TO-LL Package의 800V 시리즈가 출시될 예정이다.

## 2.2 ACEPACK SMIT Package

새롭게 개발 중인 ACEPACK SMIT은 Power MOSFET, IGBT, Si/SiC Diode 등의 Discrete 소자를 결합하여 하나의 Module로 구현된 Package이다. Direct Bond Copper(DBC) Substrate 기술을 적용함으로써, 기존 IPM과 달리 Chip 사이즈로 구현된 것이 차별된 특징이며, 23mm×25mm의 작은 Footprint를 갖는다. Top-side Cooling 구조로 방열판 부착을 통한 최적 방열 설계가 용이하며, 최소화된 기생 인덕턴스와 기생 커패시턴스로 고효율 및 저노이즈 등의 전기적 성능 향상을 기대할 수 있다.

ACEPACK SMIT은 PFC Boost 컨버터에 적용 가능한 MOSFET+SiC Diode 구조, LLC 공진 컨버터와 같은 Bridge 타입의 영전압 스위칭 토폴로지에 적합한 2 MOSFETs의 Half-bridge 구조, Vienna Rectifier에 적용 가능한 2 MOSFETs의 Source-to-Source 구조 등으로 개발될 것이다. 현재, M5 시리즈 MOSFET과 SiC Diode가 결합된 SB49N5M AG 제품과 DM6

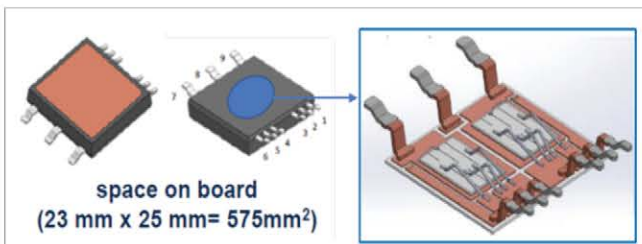


그림 4 ACEPACK SMIT의 Footprint 및 내부 구조

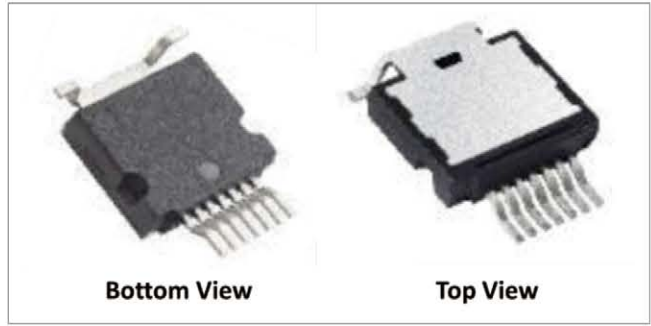


그림 5 HU3PAK의 Bottom/Top View

시리즈 MOSFET이 Half-bridge로 구성된 SD42N60DM6AG 제품은 내부적으로 Feasibility Test 중이며, Engineering Sample를 제공하고 있다.

## 2.3 HU3PAK Package

Discrete MOSFET에서도 전기적 성능뿐만 아니라, 방열 성능을 향상시키기 위한 새로운 Package가 개발되고 있다. 그 중에서도, Top-side Cooling이 가능한 Package는 방열판 부착을 통하여 최적 방열 설계가 용이하다. 일반적으로 Package의 하단면에 위치하는 Drain pin의 형상을 변경하고 Gate 및 Source pin을 반대로 Bending하는 기구적 설계 변경을 통하여, Top-side Cooling이 가능한 HU3PAK을 개발하였다.

## 2.4 PowerFLAT 5x6 VHV Package

PowerFLAT 5x6 Package는 Footprint 면적을 최소화함과 동시에 1mm 이하의 낮은 높이를 가지며, 리드의 기생 인덕턴스를 최소화할 수 있다. 따라서 200V의 낮은 정격 전압에 주로 사용되고 있으며, 최근 높은 정격 전압에도 적용 가능한 제품이 출시되고 있다. ST의 PowerFLAT 5x6 HV 및 타사의 유사 5x6 Package는 Drain-Source 간의 Creepage Distance가 2mm로 600V 이상의 정격 전압에는 다소 부족하다. 최신의 PowerFLAT 5x6 VHV Package는 2.7mm의 Drain-Source 간의 Creepage Distance를 확보함에 따라 800V의 정격 전압에도 대응 가능하다.



그림 6 PowerFLAT 5x6 VHV Package

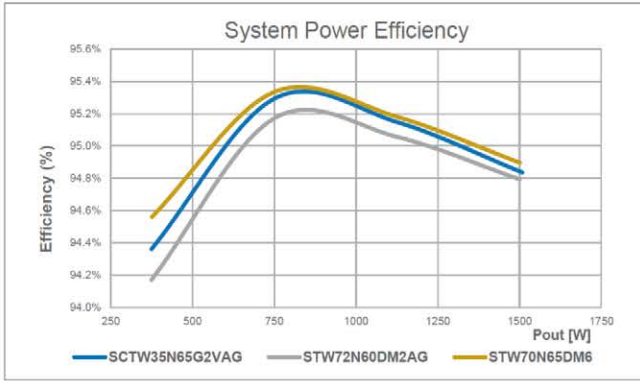


그림 7 SiC FET와 DM6 MOSFET의 효율 성능 비교

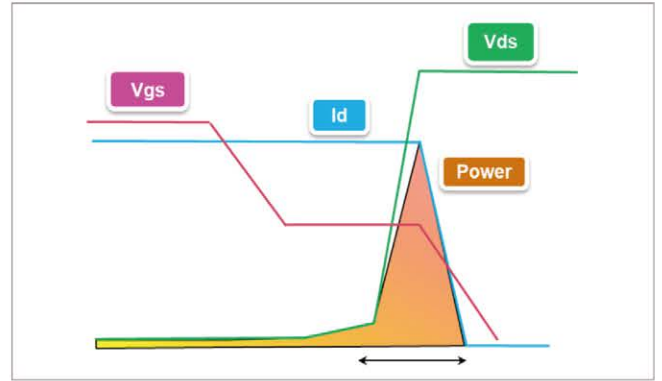


그림 8 MOSFET의 Turn-Off 파형 및 스위칭 손실

### 3. SiC FET와의 효율 성능 비교

SiC FET는 낮은  $R_{ds(on)}$ 과 함께 매우 빠른 스위칭 특성으로 차세대 대용량 반도체 스위치로 자리잡을 것이다. ST의 650V 급 SiC FET(SCTW35N65G2VAG)와 DM6 시리즈 MOSFET(STW70N65DM6)을 LLC 컨버터에 적용하여 1.5kW/48V 출력의 통신용 전력변환장치를 제작하여 효율 성능을 비교하였다.

SiC FET가 우수한 스위칭 특성을 가짐에도 불구하고, DM6 시리즈 MOSFET의 1.5V 대비 내부 Body Diode의 VF가 4.5V로 큰 단점을 가짐에 따라, DM6 시리즈가 전부하 조건에서 SiC FET보다 높은 효율을 달성하였다.

### 4. MOSFET의 Turn-Off 스위칭 손실

전력변환회로에서 동작하는 MOSFET(또는 스위칭 반도체 소자)의 Turn-Off는 전류 도통이 끝나는 시점에서 일어난다. 일반적으로, MOSFET의  $I_d$  전류 파형과  $V_{DS}$  전압 파형이 겹치는 면적으로부터 아래의 식과 같이 스위칭 손실을 계산할 수 있다.

$$P_{off} = f_{sw} \cdot E_{off} = f_{sw} \cdot \int I_{DS} \cdot V_{DS}$$

그러나, 위의 식은 하드-스위칭 토폴로지에 대하여 성립하게 되며, LLC 공진 컨버터와 같은 영전압 스위칭이 가능한 토폴로지에서는 MOSFET의  $I_d$  전류 파형과  $V_{DS}$  전압 파형이 겹치는 면적으로부터 계산된 스위칭 손실은 실제 MOSFET에서 발생하는 손실보다 크다. 즉,  $C_{oss}$ 에 충전된 에너지( $E_{oss}$ )는 MOSFET에서 발생하는 손실이 아니므로, MOSFET의  $I_d$  전류 파형과  $V_{DS}$  전압 파형이 겹치는 면적으로부터 계산된 스위칭 에너지에서 제거해주어야 한다.

$$E_{off} = E_{offm} - E_{oss} (@ V_{DSoff})$$

위의 식에서  $E_{offm}$ 은 MOSFET의  $I_d$  전류 파형과  $V_{DS}$  전압 파형이 겹치는 면적으로부터 계산된 스위칭 에너지이고,  $E_{oss}(@ V_{DSoff})$ 는  $I_{ds}$  전류가 0A가 되는 시점의  $V_{DS}$  전압에 따라 데이터시트에서 읽을 수 있는  $E_{oss}$  값이 된다. 따라서, 아래의 식으로부터, 영전압 스위칭 토폴로지에 대한 MOSFET의 Turn-Off 스위칭 손실을 구할 수 있다.

$$P_{off} = f_{sw} \cdot (E_{off} - E_{oss})$$

ST의 DM6 시리즈 MOSFET의 경우, 데이터시트의  $E_{off}$  값이 크더라도, 실제 LLC 공진형 컨버터에 적용하면 타사 대비 스위칭 손실이 낮으며 측정된 부품 온도 또한 낮다.

### 5. 결론

ST의 High-Voltage MOSFET은 그림 10과 같이 400V부터 1500V까지의 넓은 정격 전압에 대한 포트폴리오를 제공하고 있다. 특히, 낮은 게이트 전하량 및 낮은  $R_{ds(on)}$  특성이 최신

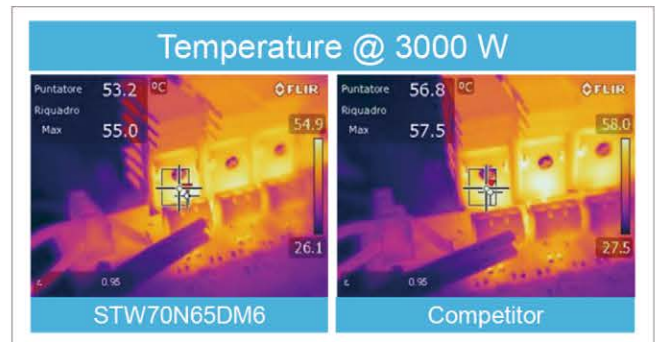


그림 9 DM6 MOSFET의 발열 특성 비교

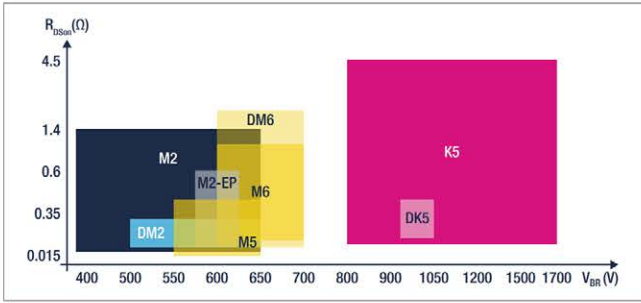


그림 10 ST의 MDmesh™ MOSFET 시리즈에 따른 정격 전압 및 R<sub>ds(on)</sub> Line-up



그림 11 ST의 High Voltage Power Transistor Roadmap

Package에 집약되어 있다. ST는 MDmesh™ 기술을 적용함으로써, 어댑터, 가정용, 산업용, 전기자동차 등 다양한 전력/전압 범위의 적용 분야에서 고효율을 달성할 수 있게 되었다. 향후, 새로운 Super Trench Mesh 기술 적용을 통하여, High-Voltage MOSFET의 성능 향상에 노력할 것이며, ST의 IGBT 및 SiC/GaN FET와 함께 Full Line-up을 구축하고 미래 전력용 반도체 소자 시장을 주도하고자 한다. 🏢

**조수빈** ST Microelectronics Korea OEM 영업 차장  
 2008년 경상대 경영학과 졸업.  
 2011년~현재 ST Microelectronics Korea OEM 영업 차장.



**정지윤** Power & Discretes(PTD)팀 마케팅 인턴  
 2020년 영남대 전자공학과 졸업.  
 2020년~현재 ST Microelectronics Korea Power&Discretes(PTD)팀 마케팅 인턴.

