

소개 Introduction

전력변환장치를 구성하는 전력용 반도체는 실리콘 전력용 반도체가 일반적으로 사용되었지만, Wide-bandgap 반도체의 등장으로 서서히 대체되어 가고 있다. 본 문서에서는 Wide-bandgap 반도체의 대표적인 GaN, SiC 반도체에 대해 소개한다.

Wide-bandgap device

Wide-bandgap 반도체는 말 그대로 Band gap이 큰 재료를 사용하여 소자를 만들었다는 것이다. Wide-bandgap 소자는 실리콘 전력용 반도체에 비하여, Breakdown field가 크고, Electron drift velocity가 더 높다. 이는 더 높은 전압을 견딜 수 있고, 도통 손실이 훨씬 좋다는 것을 의미한다. 특히 SiC는 Thermal conductivity가 훨씬 높는데, 방열 특성이 훨씬 좋고, 더 높은 온도에서 소자를 운용할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 Wide-bandgap 소자의 특성으로 많은 Application에서 실리콘 소자를 대체하고 있다.

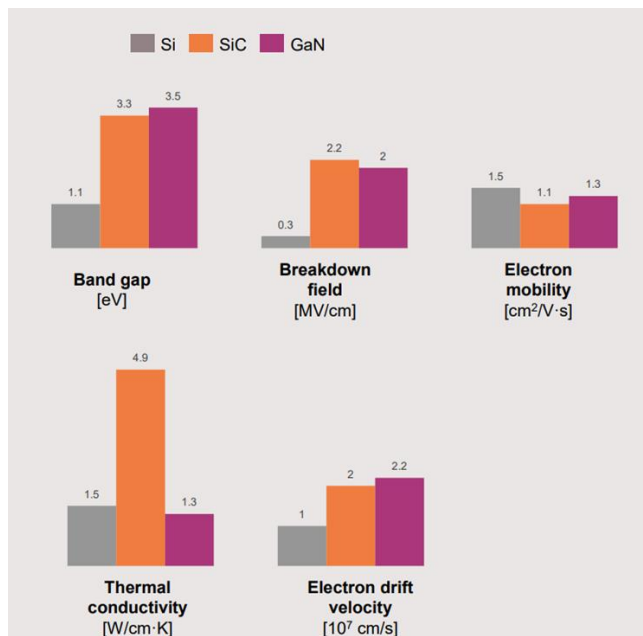


그림 1. 실리콘 소자 vs. Wide-bandgap 소자 (Infineon 자료 첨부)

SiC MOSFET

SiC MOSFET은 기존 Si MOSFET과 그 구조가 동일하지만, Die를 제작하는 과정에 있어서는 더 높은 온도에서 열처리를 하는 등 공정 상에서 차이점을 보인다. 구조는 동일하지만 Si에 비하여 Bandgap이 더 높다는 점 때문에 같은 전압 용량을 만들기 위한 사이즈가 줄어든다는 것이 장점이며, 동일한 사이즈로 만들 경우 더 높은 전압 용량을 가질 수 있게 된다. 또한 Thermal conductivity로 더 높은 온도에서 동작할 수 있다는 장점이 있다. 즉, 동일 방열 설계에서 더 높은 전류로 운전할 수 있다는 것이 장점이다.

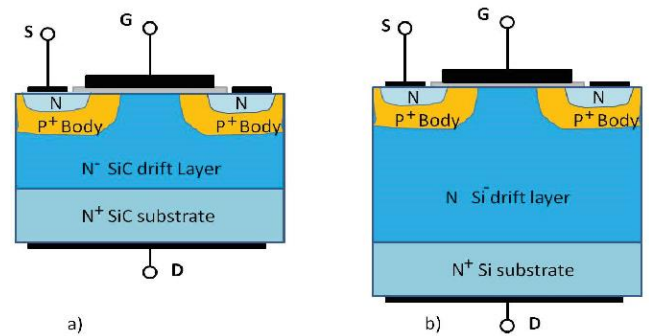


그림 2. (a) SiC MOSFET (b) Si MOSFET

GaN HEMT

GaN 소자는 HEMT(high-electron-mobility transistor)로 이형접합(Heterojunction) 구조를 이용하여 만든다. High mobility는 High current, Fast switching 특성을 의미한다. 이형접합은 서로 다른 Bandgap을 가지는 물질을 접합하는 것이다. 이 때 접속단에서 Bandgap 차이에 의한 Fermi level의 불연속 레벨이 형성되는데, 이를 연속적으로 만들기 위하여 전자가 한쪽으로 이동한다. 이로 인해 휘어진 에너지 띠를 형성하게 되며, 접속단에 Two-dimensional electron gas (2-DEG)를 형성한다. 이는 채널과 같으며, 형성된 채널을 통해 전류가 흐르게 된다.

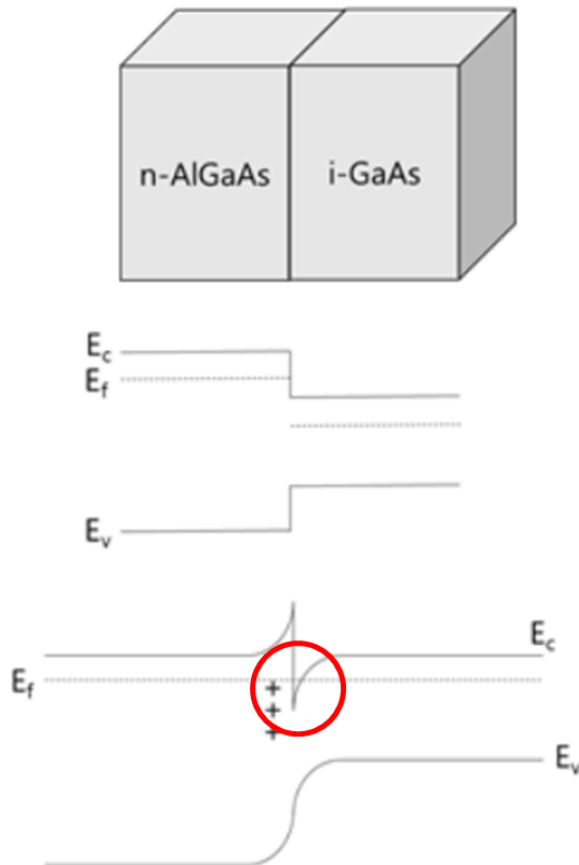


그림 3. 이형접합 구조의 Fermi level

소자 구조에서 알 수 있듯이 접합하는 것 만으로 채널이 형성되어 Normally ON device라 볼 수 있다. Metal top gate를 증착하고 Gate에 음의 전압을 인가함으로써 해당 특성이 사라지게 된다. 하지만 Normally ON 특성은 실제 회로 설계를 매우 어렵게 한다.

이를 극복하기 위해서 P-type GaN이 사용되는데, 이는 Zero-bias에서 2-DEG를 억제한다. 즉 Normally OFF로 동작하게 된다. Gate에 양전압을 인가하면 원래대로 Fermi level을 복구하여 On-state를 만들 수 있게 된다.

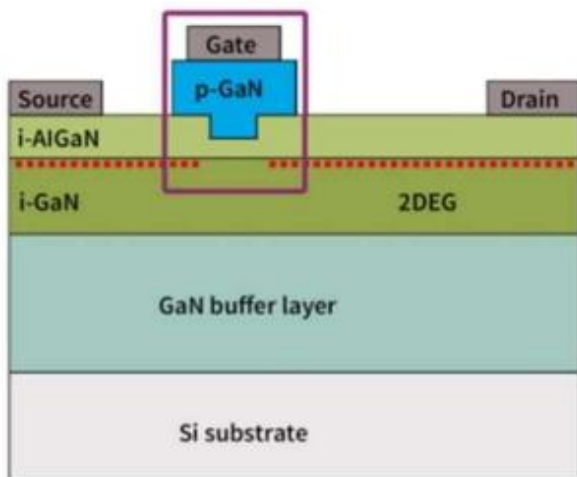


그림 4. P-type GaN

Application

Wide-bandgap 반도체는 많은 영역에서 Si 전력용 반도체를 대체할 수 있지만, 비용상의 문제 등으로 넘어야 할 벽이 매우 많다. 주로 SiC 소자는 650 ~ 3,300V 급, GaN 소자는 650V 이하의 Application을 대체할 수 있다.

SiC 소자의 경우, 고온·고전압 Application을 대체하고 있으며, 특히 단일 소자로 10 ~ 20kV 급 모듈이 개발되고 있어 향후 더 많은 부분을 대체함과 동시에 새로운 영역에 적용될 것으로 보인다. GaN 소자의 경우, 전력 밀도를 높일 수 있어 제한된 부피 내에서 고전력을 다루는 분야에서 기존 반도체를 대체하고 있다.

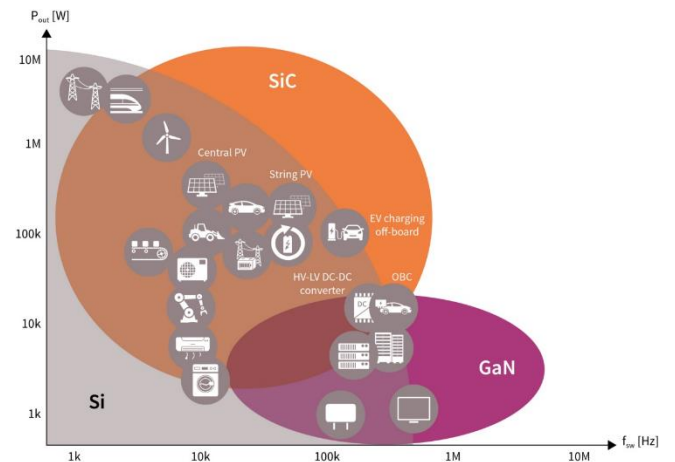


그림 5. Si, SiC and GaN 적용 분야
(Infineon 자료 첨부)

본 자료는 대략적인 정보 전달을 위한 매거진으로, 기술상의 오류가 있을 수 있으며, 최신 동향이 누락될 수 있습니다. 상세한 지식과 정보를 얻기 위해서는 교재 및 논문 등을 참고하시기 바랍니다.

Reporting: benkim@plecko.biz