

特集に寄せて

Power Semiconductor Devices – Driving Technology for Power Conversion Systems

パワー半導体デバイス —電力変換システム技術の牽引役—

LORENZ, Leo

Dr. Engineering, President ECPE (European Center for Power Electronics)
Technology Advisor to Industry and Government, Munich, Germany

工学博士、ECPE プレジデント



Power Electronics is the key technology to control the flow of electrical energy along the whole chain from generation, transmission and distribution up to various types of consumers, and to do so with great precision, extremely fast dynamic control, high efficiency, and high-power density on all power conversion stages. Furthermore, this technology is an enabler for the grid integration of renewable energy sources and E-Mobility and provide significant contributions to the key issues of improved energy efficiency, reduced consumption of materials as well as the sustainable energy supply based on renewables.

Sustainability and Global Warming

Power electronics is a cross-sectional and ubiquitous field as it covers many disciplines including material science, semiconductor physics, assembly and interconnection technologies, circuit topologies and control, in all applications dealing with electric energy. Today we know that changes in all energy sectors are needed, and that renewables-based electrification is the major step towards greenhouse gas reduction and climate change mitigation.

Mobility is key for global growth and societal wealth. As such, mobility is undergoing a transformation from fossil fuel mobility to sustainable and environmentally friendly electric mobility. In addition, electrification allows the rise of new mobility concepts such as drones and high-speed transportation like the hyperloop concept. In general power electronics for electric vehicles have progressed well with transitioning from Silicon based switching devices to SiC and GaN switching devices. Integration of the electric motor and the inverter is seen as a key development to achieve better integration and standardization. Challenges here are new active or hybrid EMC filter technologies to reduce

■和文翻訳（富士電機にて作成）

パワーエレクトロニクスは、発電や送配電からさまざまな消費者に至るまでの一連の電気エネルギーの流れを、電力変換のあらゆる段階で高精度に、極めて高速でダイナミックに、高効率、高電力密度で制御することを可能にする重要な技術である。さらにこの技術は、再生可能エネルギー源の電力系統への統合やモビリティの電動化を実現し、再生可能エネルギーに基づく持続可能なエネルギー供給に加え、エネルギー効率の向上、材料消費の削減という重要課題に大きく貢献するものである。

サステナビリティと地球温暖化

パワーエレクトロニクスは、電気エネルギーを扱うあらゆるアプリケーションにおいて、材料科学、半導体物理学、アセンブリ・配線技術、回路トポロジーと制御など、多くの領域にわたる横断的でわれわれの身近に存在する分野である。今日、あらゆるエネルギー分野で変革が必要であり、再生可能エネルギーによる電化が温室効果ガスの削減と気候変動の緩和に向けた大きな一歩となるということが分かっている。

モビリティは世界の成長と社会の豊かさへの鍵である。その中でモビリティは、化石燃料によるモビリティから持続可能で環境にやさしい電気によるモビリティへの変化を遂げつつある。また電化により、ドローンやハイパーレーブ構想のような高速輸送など、新たなモビリティの概念が生まれている。一般的に電気自動車向けのパワーエレクトロニクスは、シリコンベースのスイッチングデバイスから SiC や GaN のスイッチングデバイスへの移行が順調に進んでいる。電気モータとインバータの統合は、より優れた統合と標準化を実現するための重要な進歩である。その際、小型化、軽量化、コスト低減のための新しいアクティブ EMC フィルタまたはハイブリッド EMC フィルタ技術の開発がここでの課題となる。

トラックやバスは乗用車と同じ道路を走るが、より多くのエネルギーや電力を必要とし、稼働時間もはるかに長い。

size, weight, and costs.

Trucks and busses share the same roads as cars, but energy and power demands are higher, and the operation time is much longer. Power electronics is therefore designed to deal with higher lifetime requirements.

From all transportation systems, railway is the most experienced electrification so far. Trains and infrastructure are expected to last decades and as such power electronics must offer high reliability and long lifetime. The need for very high-speed trains is growing resulting in the development and implementation of MAGLEV trains and Hyperloop vehicles.

Emissions and noise from aircrafts must be reduced by 2040 and electrification will undoubtedly help in achieving these targets. In these application, semiconductors like SiC and GaN are needed and for the future even ultra-wide bandgap semiconductors (UWBG) will give an additional benefit.

Generally speaking, a lot of innovation towards smart converters using benefits from I 4.0 and AI will dominate power electronics in all fields of mobility and energy supply application. Sustainability is getting more in focus for all developments in the future.

Power semiconductor devices

The performance of active and passive power devices has always been a limiting but enabling factor for power electronics.

Silicon (Si) devices have been the workhorses of power electronics and will remain for the next decades. The low voltage MOSFET, the super junction MOSFET, the IGBT and thyristor-based devices have reached a level of maturity that ground-breaking innovations are not to be expected.

Two decades ago, the first silicon carbide (SiC) Schottky diode became commercially available, and one decade ago, the first SiC MOSFETs appeared on

したがってこれらに対するパワーエレクトロニクスは、より長寿命に対応できるよう設計されている。

あらゆる輸送システムの中で、鉄道は、電化に対して最も実績を積んでいる。列車と鉄道施設は数十年の耐久性を要求されており、したがって鉄道システムに対するパワーエレクトロニクスには高い信頼性と長寿命が必要となる。超高速列車へのニーズが高まっており、磁気浮上式鉄道やハイパーloopの開発や導入につながっている。

航空機の排気や騒音は 2040 年までに低減が必要であり、電動化がその目標の達成に貢献すると期待されている。その際、SiC や GaN などの半導体が必要であり、将来に向けては超ワイドバンドギャップ (UWBG) 半導体もさらなる恩恵をもたらすであろう。

一般的に、インダストリー 4.0 や AI の利点を生かしたスマートコンバータに向けた多くのイノベーションが、モビリティやエネルギー供給用途のあらゆる分野でパワーエレクトロニクスに影響を及ぼすであろうと言われている。今後、あらゆる開発において、サステナビリティがより重視されるであろう。

パワー半導体デバイス

能動素子であれ、受動素子であれ、パワーデバイスの性能は、常にパワーエレクトロニクスの制約要因でもあり実現要因でもあった。

シリコン (Si) デバイスはパワーエレクトロニクスの主力製品であり、今後数十年間はその座を維持すると思われるが、低電圧 MOSFET やスーパージャンクション MOSFET、IGBT、サイリスタベースのデバイスは成熟期にきており、革新的なイノベーションは望めない。

20 年前、炭化けい素 (SiC) ショットキーダイオードが初めて市販され、10 年前には SiC-MOSFET が初めて製品化された。その後、SiC デバイスはかなりのシェアを占めるようになり、モビリティの電動化や再生可能エネルギー技術の分野でハイエンドニッチから主流へと一歩踏み出した。現在では、650 V ~ 6.5 kV までの電圧範囲

the market. In the meantime, SiC devices have reached a considerable market share and made the step out of the high-end niche into the mainstream, with the e-mobility and renewable energy technologies. Today the voltage range is covering from 650 V up to 6.5 kV and further development like the super junction MOSFET and the FinFET are attracting more and more attention.

Lateral gallium nitride (GaN) devices with voltage ratings up to 650 V are now established. There is currently a strong focus for consumer electronics but also for power supplies in ICT and data centres. All these applications take benefit from the low parasitic capacitances and the low gate charge. GaN-based converter circuits can operate at higher switching frequencies with still high efficiency and their volume and weight can be reduced significantly. Monolithic integration is an important advantage in lateral GaN technology. Vertical GaN transistors are recently considered for voltage ratings > 1,000 V and for higher current capabilities. The next step will be ultra-wide bandgap semiconductors (UWBG) made of Ga₂O₃, AlGa₂N, AlN or diamond crystals.

Power Electronics capability in Japan

Historically, Japan has a strong position in power electronics, on the technology side with power devices and on the application side with industry, renewable energy technologies and traction drives.

Japan industry is covering the whole value-added chain starting with materials, substrates, wafers, power devices, and converters covering a variety of applications.

From the very beginning of Power Electronics Fuji Electric is playing a key role, and in many cases, creates trend setting technologies. This issue provides an excellent example of the current technology available towards the future trends.

をカバーしており、スーパージャンクション MOSFET や FinFET のようなさらなる進化がますます注目を集めている。

横型窒化ガリウム (GaN) デバイスでは、現在、定格電圧 650 V までが実用化されており、民生用電気機器だけでなく、ICT やデータセンターの電源用途にも注目が集まっている。これらすべてのアプリケーションでは、GaN の低寄生容量と低ゲート電荷の恩恵を受けている。GaN ベースのコンバータ回路はより高いスイッチング周波数でも高効率で動作し、体積や重量を大幅に削減できる。モノリシック集積化は横型 GaN デバイスにおいて重要な技術である。縦型 GaN トランジスタでは、最近、1,000 V を超える定格電圧と、より高い電流容量が検討されている。次のステップでは Ga₂O₃、AlGa₂N、AlN あるいはダイヤモンド結晶でできた超ワイドバンドギャップ (UWBG) 半導体の可能性が挙げられている。

日本におけるパワーエレクトロニクスの可能性

以前より日本は、パワーエレクトロニクスにおいて、技術面ではパワーデバイス、アプリケーション面では産業、再生可能エネルギーおよびトラクションドライブ分野で確固たる地位を築いている。

日本の産業は、材料、基板、ウェーハ、パワーデバイス、コンバータでさまざまなアプリケーションをカバーし、バリューチェーン全体を網羅している。

富士電機はパワーエレクトロニクスの初期から中心的な役割を果たしており、時代の先駆けとなる技術を創出している。本号では、将来の動向を見据えた技術事例を分かりやすく紹介する。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。