

超高効率GaNパワー・光デバイスの技術開発とその実証

大阪大学大学院工学研究科
森勇介

名古屋大学未来材料・システム研究所
天野浩

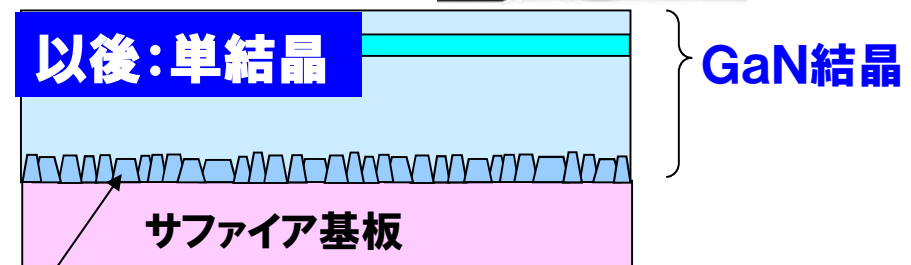
GaN結晶のイノベーションでノーベル賞

赤崎先生、天野先生、中村先生



1986年以前 誰もGaN単結晶が育成できなかった

1986年に赤崎先生、天野先生が低温緩衝層を発見

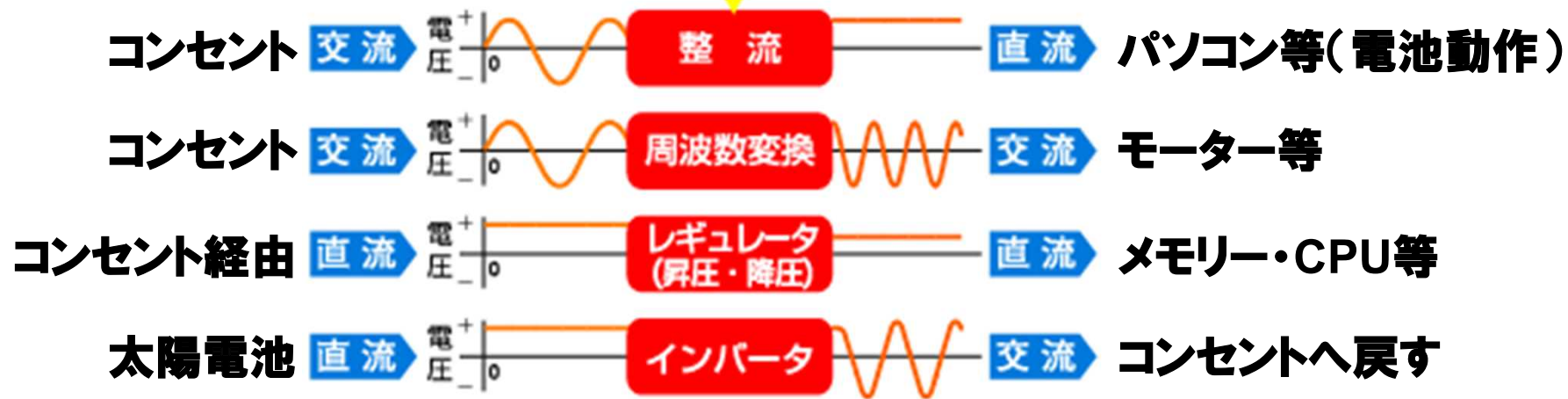


低温緩衝層により単結晶化が可能になった

GaNパワーデバイスは究極の省エネを実現可能

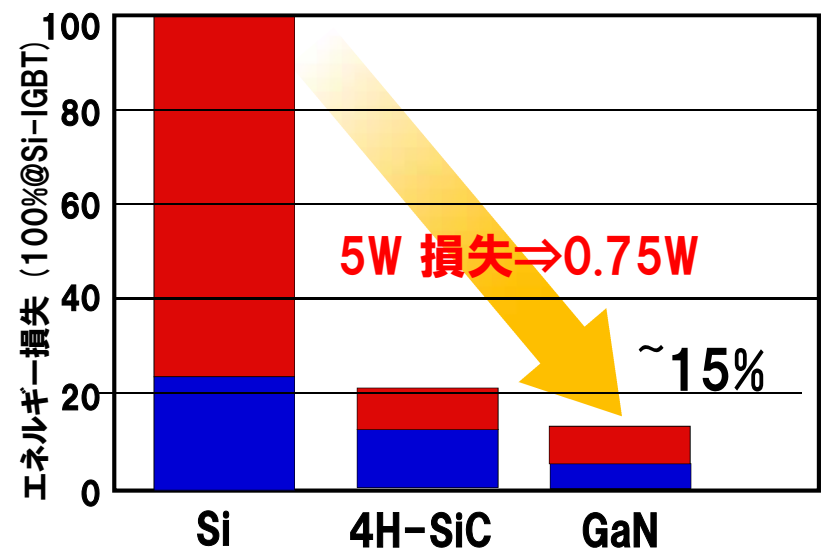
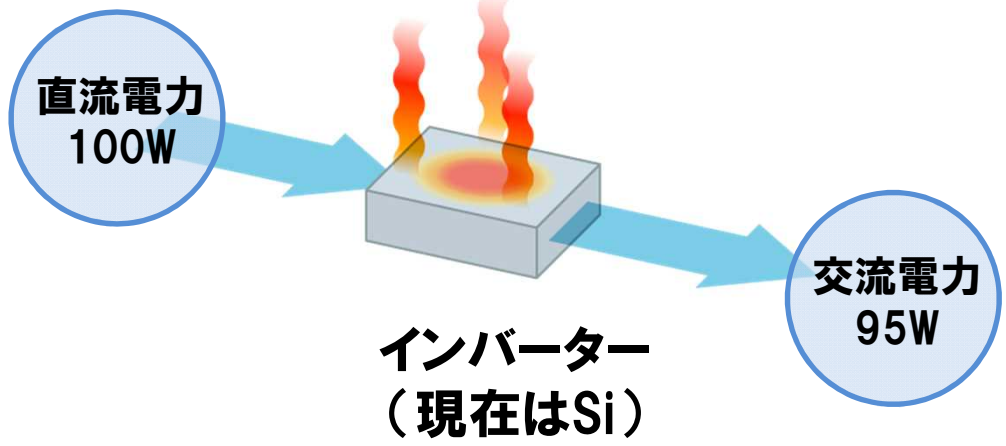
パワーデバイス

さらにきれいな
(ノイズのない、精度の高い、ムダのない)
電気に変える



損失(発熱)

5W



LED用GaN結晶ではパワーデバイスは実現出来ない

LEDは電線

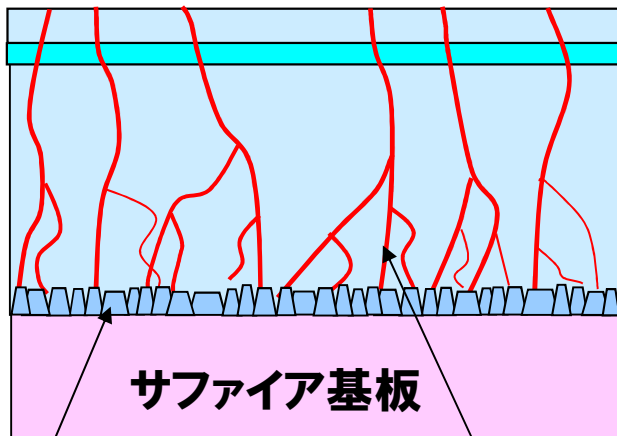


パワーデバイスはガス管



パワーデバイスにはきれいな結晶が必要

現在のLED用GaN結晶



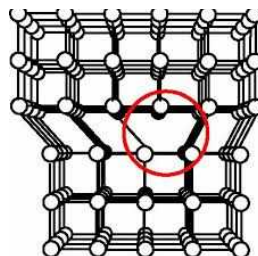
低温緩衝層

サファイア基板

転位(漏れ電流)



漏れのイメージ



パワーデバイス用GaN結晶の理想



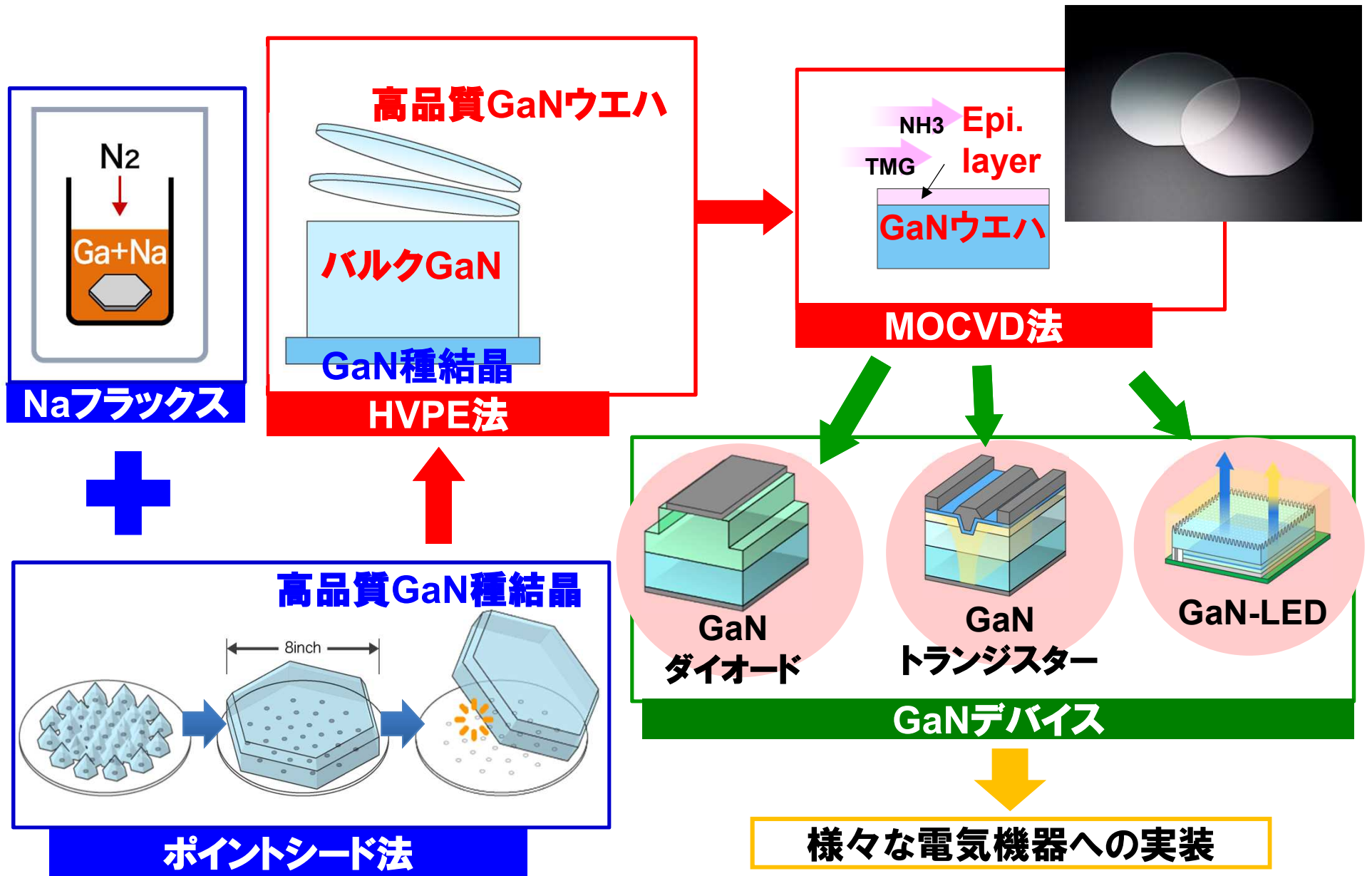
無転位

GaN結晶



理想:漏れ無し

環境省プロジェクト概要



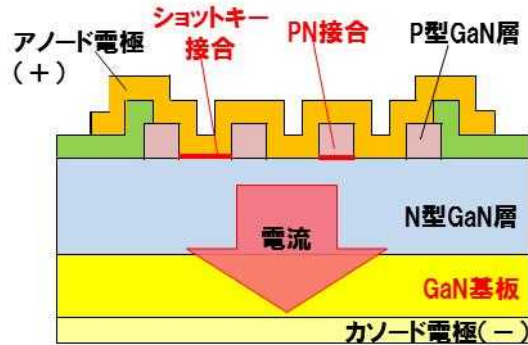
世界最大:7インチGaN疑似単結晶



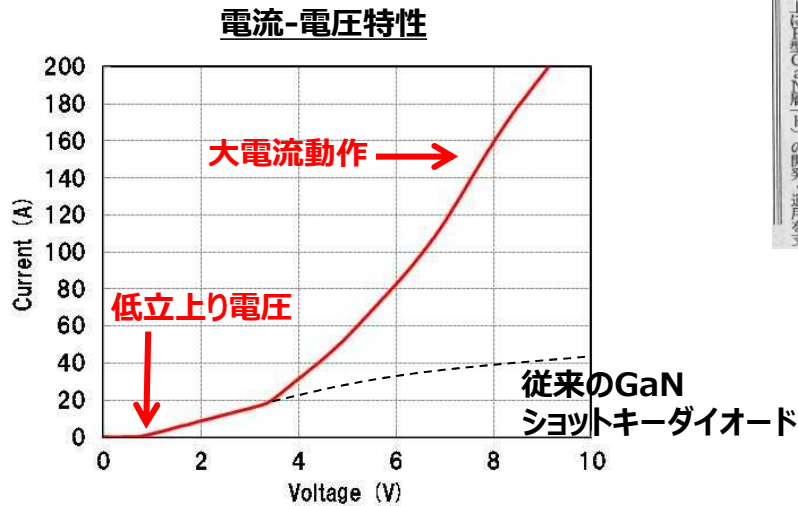
GaNパワーデバイスの高性能化①

大電流動作と低立上り電圧を実現するGaNダイオードを開発し、プレスリリース

開発したGaN基板上縦型ダイオード



P型GaN層を選択的に形成し、ショットキー接合とPN接合の両方を有するハイブリッド構造実現



小型・低電力損失 GaNダイオード

パナソニック 20年実用化

パナソニックは、大電力が必要な電気自動車(EV)や産業機器の電圧変換回路に、パワー回路向けに、電力損失を減らし、機器も小型化できる窒化ガリウム(GaN)ダイオードを開発した。炭化ケイ素(SiC)ダイオードの従来品では難しい、低電圧動作と大電流での動作を両立するため、新たなダイオード構造と加工技術を開発した。性能向上と安定化を進め、2020年に実用化を追求。

開発したGaNダイオードは、立ち上がり電圧0.8Vの低電圧で動作する。1平方センチあたりの電流密度は7.6mA/cm²、抵抗は1.3mΩ、オン抵抗は1.6mΩ、GaNと同じ世代のSiCダイオードの約4倍、オン抵抗は約半分、電流密度は約4倍、電力損失を減らす。必要チップ面積は同面積の1/4に小型化できるため、高周波での動作も可能になる。低電圧動作と低オン抵抗に高電流密度を兼ね備える。このため、立ち上がり電圧が低いショットキーバリアダイオード構造へ、立ち上がり電圧が高いPN接合を融合した、ハイブリッド構造「ハッカ」の開発から、実用化アプリケーション(応用ソフト)の開発・運用を支援する。

「ハッカ」
新事業
I.T.活用

伊藤忠テクノソリューションズは、企業向けの新事業として、半導体設計・製造・パッケージングの提供を開始した。技術者らがアイデアを競い合う開発イベント「ハッカソン」の開催から、実用化アプリケーション(応用ソフト)の開発・運用を支援する。

日刊工業新聞

従来の4倍大電流化 ⇒ 小型化

立上がり電圧低減 ⇒ 省エネ効果

日経産業新聞

電力消費抑える 車載半導体開発
パナソニック
自動車や産業機器の電圧変換回路などに使う半導体で、電力消費を抑えらるる製品を開発したと発表。従来製品に比べて対応する電圧の幅を広げ、電圧抵抗が約半分になったため、電力のロスが減る。2020年の実用化を目指す。開発したのは電流を一方に流す機能をもつ「ダイオード」と呼ばれる半導体。シリコンや炭化ケイ素(SiC)を使った従来製品は対応する電圧の幅が小さく、低電圧対応の半導体が大電流を扱う場合は面積を大きくする必要があった。新製品は窒化ガリウム(GaN)基板の上に低電圧と高電圧に対応する2種類の構造をつくり、対応する電圧の幅を広げ、従来の製品に比べて約4倍の電流が流れるようになった。小型化で電流が流れる経路が短くなるため、電気抵抗が従来製品の約半分に、消費電力の削減につながるという。

昨年(平成27年9月16日)の日経産業新聞に掲載

掲載日 2015年09月16日 日経産業新聞 009ページ

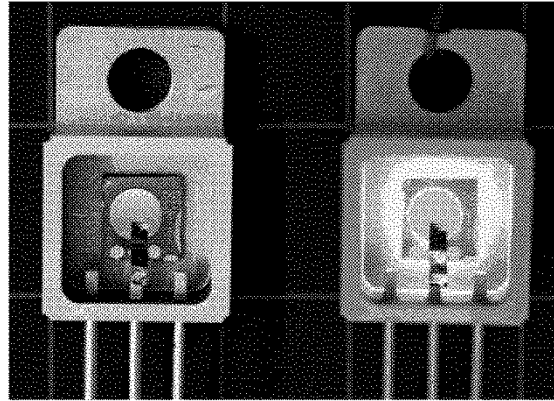
パワー半導体窒化ガリウムで

エネルギー損失1/7に

法政大・住友化学系

法政大学の三島友義教授と中村徹教授らは、住友化学の子会社サイオクス(茨城県日立市)と共同で、電気自動車などのモーターの回転制御に用いるパワー半導体のひとつ、パワーダイオードを開発した。青色発光ダイオード材料として知られる窒化ガリウムを用い、シリコンの従来品より電気抵抗が低く、高い周波数で動作する。自動車用のモーター制御装置を10分の1に小型化でき、省エネにもつながる。

車モーター制御装置 小型化



素子の中央にある約5ミリのチップがパワー半導体。電流が流れているとき④には発光し、その光で抵抗がさらに下がる。(法政大提供)

ダイオードは、一方から入ってきた電流は流さずにブロックし、他方から入ってきた電流はスムーズに流すスイッチの役割をする素子だ。

研究チームは、基板の上に、窒化ガリウムで作った2種類の半導体を積層。従来のサファイアに代えて窒化ガリウム自体を基板に用いることで、欠陥の少ない、性能の高い窒化ガリウム結晶を作製した。この結晶に不純物を加えて半導体を作る

御するパワーコントローラーユニット(PCU)にできる。現在のPCUには、高電圧で動作するパワーダイオードが不可欠だ。現在はシリコン素子を用いているが、窒化ガリウムで素子ができれば性能が格段に向上するとし、各国が開発を進めている。

省エネ目指し開発進む

窒化ガリウムを用いたパワーダイオードの開発は、環境省が2014年度から始めた研究開発プロジェクトの一環だ。昨年ノーベル物理学賞を受賞した日本の窒化ガリウム技術を生かしてエネルギー効率のよいパワーデバイスを作り、省エネに役立てるのが狙い。

このほか大阪大学の森勇介教授らが、高品質で

製。その濃度分布などを工夫して、従来以上の大電圧に耐えるようにした。開発したパワーダイオードは、電流が流れるときの抵抗がシリコンの数十分の1と極めて小さい。電流が流れると発光し、そのために電流が増えてさらに抵抗が下がるといわれる。抵抗が小さいためほとんど熱が発生せず、エネルギー損失を従来の7分の1に低減できる見通し。

一方で電流をブロックするときは、約5000Vの高電圧をかけても破れない。自動車だけでなく、電車や発電所の配電などで用いることも可能など、十分な耐電圧性能を持つことを確認した。

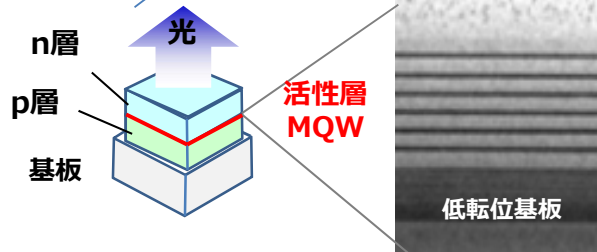
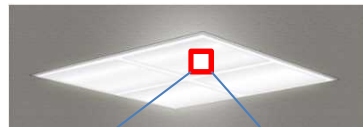
自動車や電車などで用いるモーターの回転を制御する。名古屋大学で開催中の応用物理学会で16日に発表する。

面積、低価格の窒化ガリウム基板の開発に取り組む。またパナソニックが、開発されたパワートランジスタとパワーダイオードを組み合わせ、性能を確認する。

環境省プロジェクト概要: GaNデバイス作製～実機実証

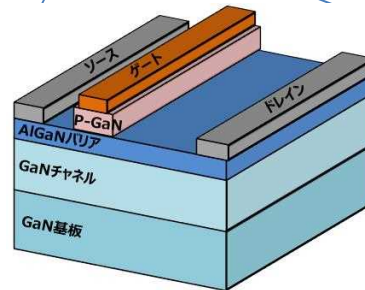
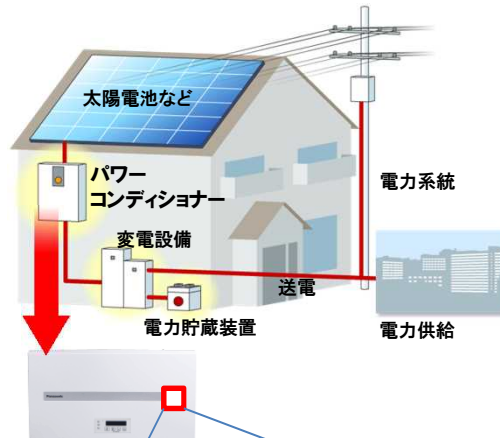
GaN-LED

(シーリングランプ・
車載ヘッドライト、野外照明)

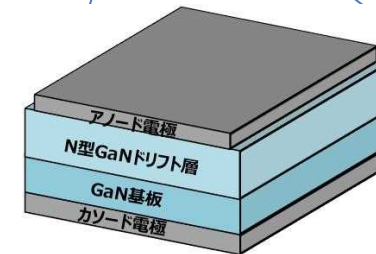
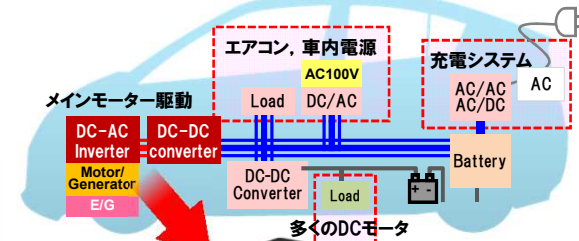


GaNトランジスタ

(太陽電池用パワコン、サーバ、動力モーター、電子レンジ)



GaNダイオード



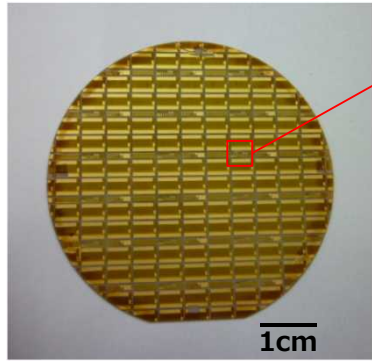
期待される効果
大電流動作時のLED発
光効率向上
省エネ&高輝度を実現

チップ面積を増大でき大電流化が実現

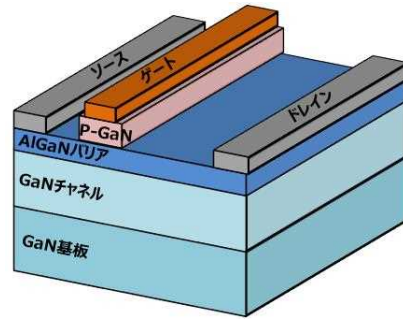
シーリングライト、ヘッドライトから野外照明へ搭載（非公開）

太陽電池の電力をより効率的に使用

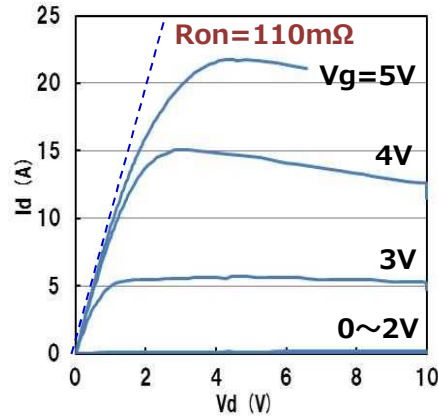
デバイス作製後の2インチGaNウェハ



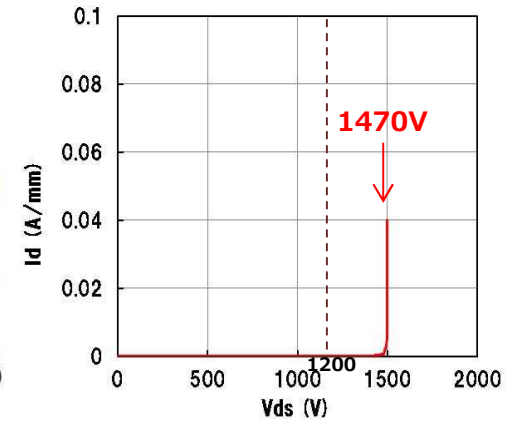
GaN基板上トランジスタ



オン特性

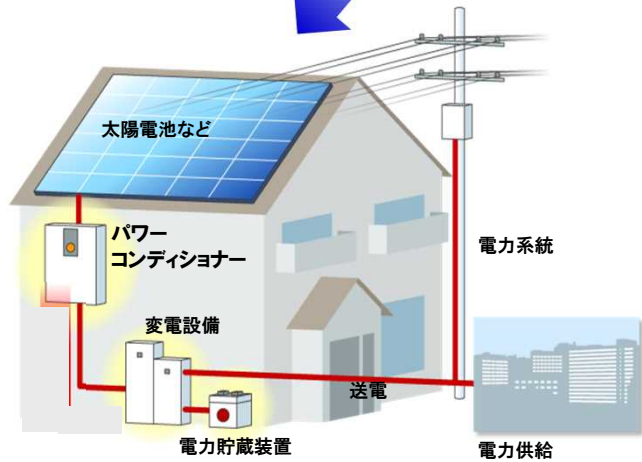


オフ特性

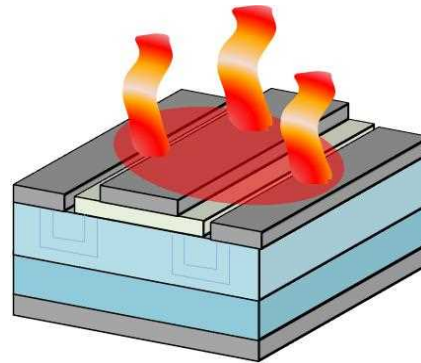


電力変換機器に適用

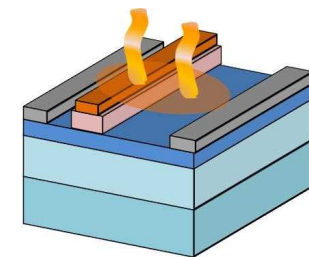
高耐圧GaNトランジスタ実現



Before Siパワーデバイス



After GaN基板上パワーデバイス

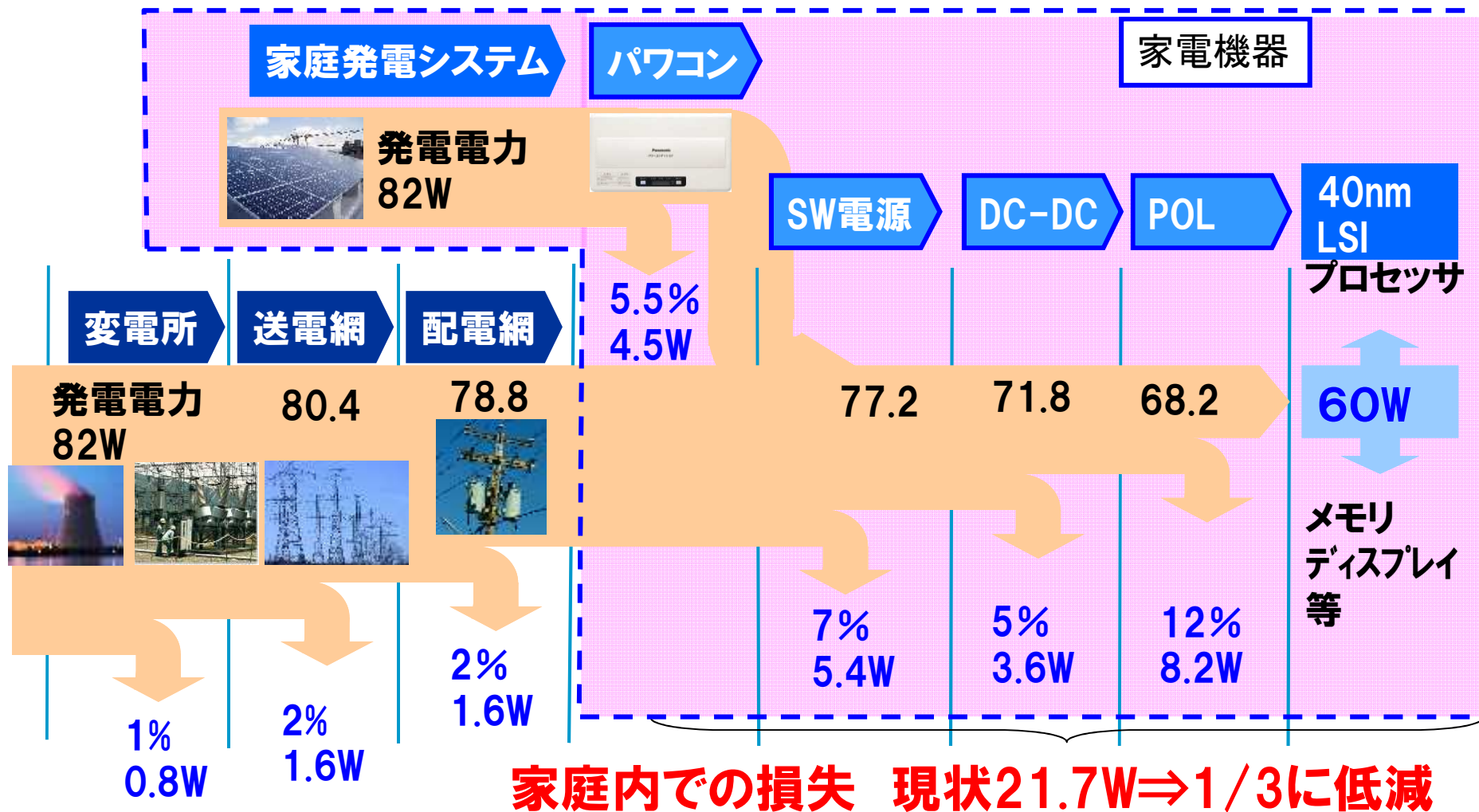


発熱小 1/4~1/7

機器高効率化可能

家庭内における電力変換損失の分析

GaNデバイスにより家庭内でのさらなる省エネルギー化が実現



サーバーの省エネルギー化

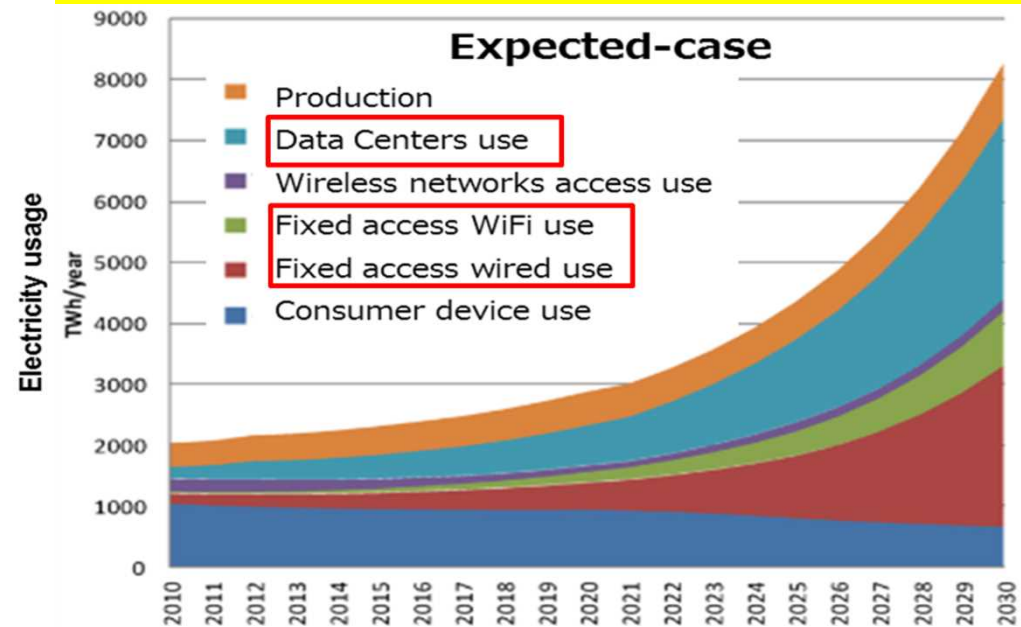
今後大きな電力消費量が見込まれるサーバーにおいて、電力のロスをいかに減らすかという問題を、GaNデバイスで解決



サーバ電源に高効率GaNデバイスを搭載し、電力ロスによるCO2を削減



2030年には、IoTの進展でデータセンタとネットワークの電力量が格段に増える。



電子レンジの省エネルギー化

電子レンジを小型化・省エネルギー化、更にお弁当の温めたいところだけを温めることができる選択加熱を実現。

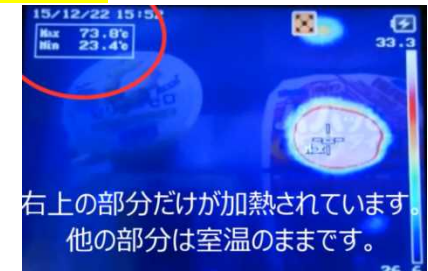
この技術は電子レンジにとどまらず広い応用が期待される。



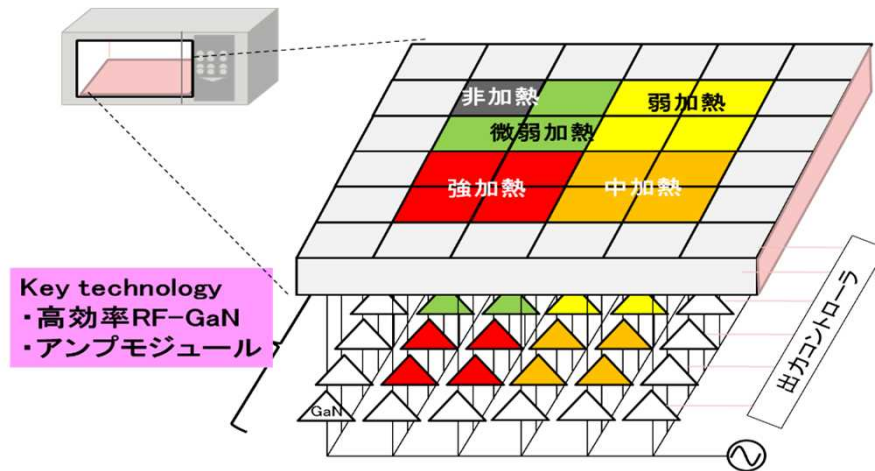
選択加熱の例



赤外線映像(加熱前)



赤外線映像(加熱後)

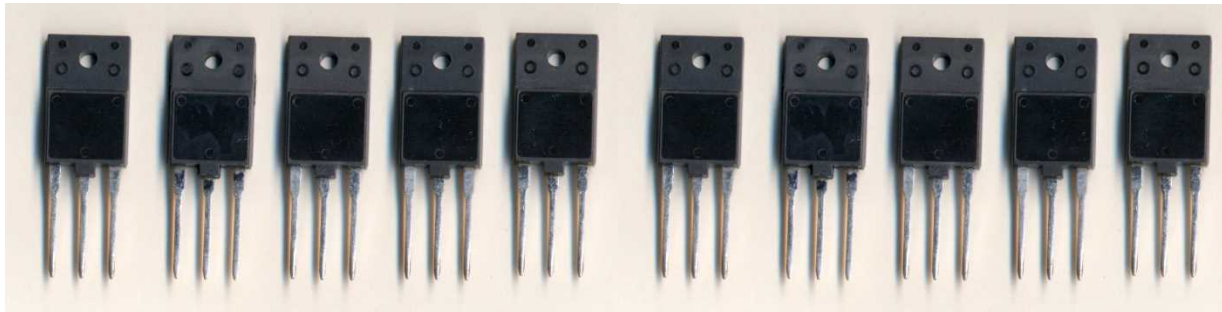


加熱・反応・乾燥など様々な応用

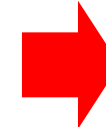


PC充電器などのシステム小型化

従来のSiデバイス

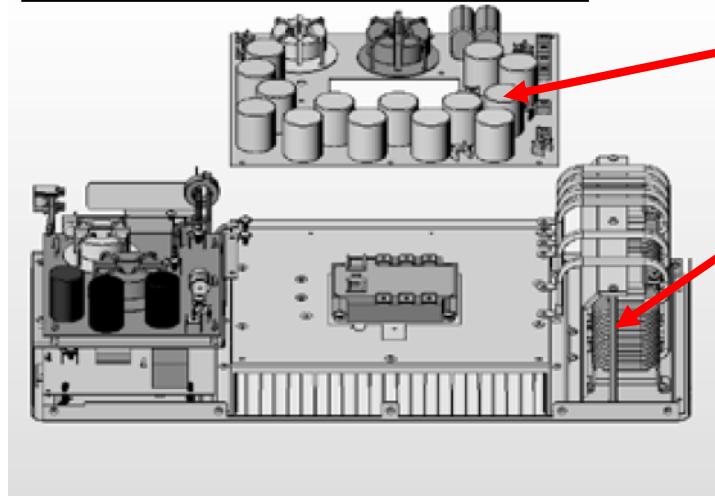


GaNデバイス

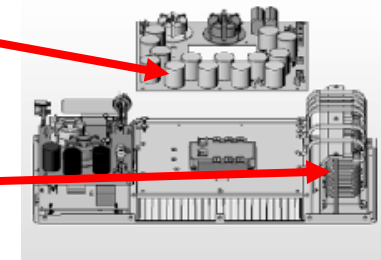


サイズ 1/10
オン抵抗 1/10
損失 1/10

Siデバイス直流・交流変換器



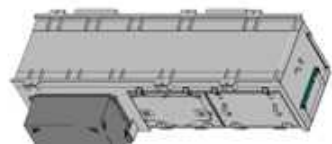
GaNデバイス直流・交流変換器



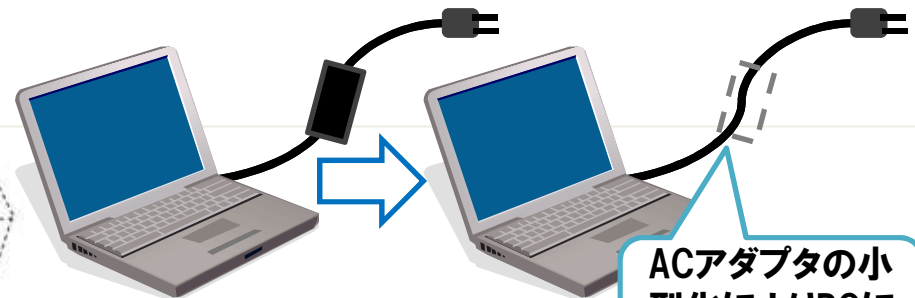
C:コンデンサ

[サイズ 1/10]

L:リアクトル

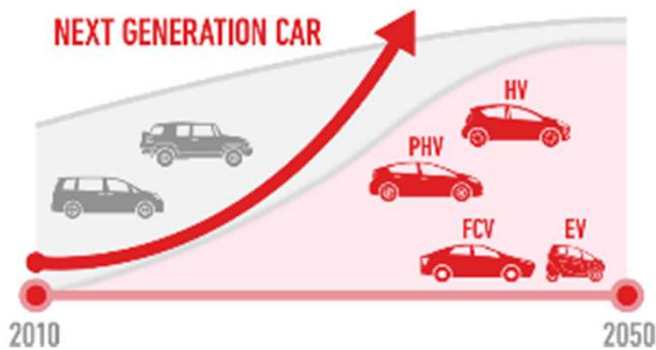
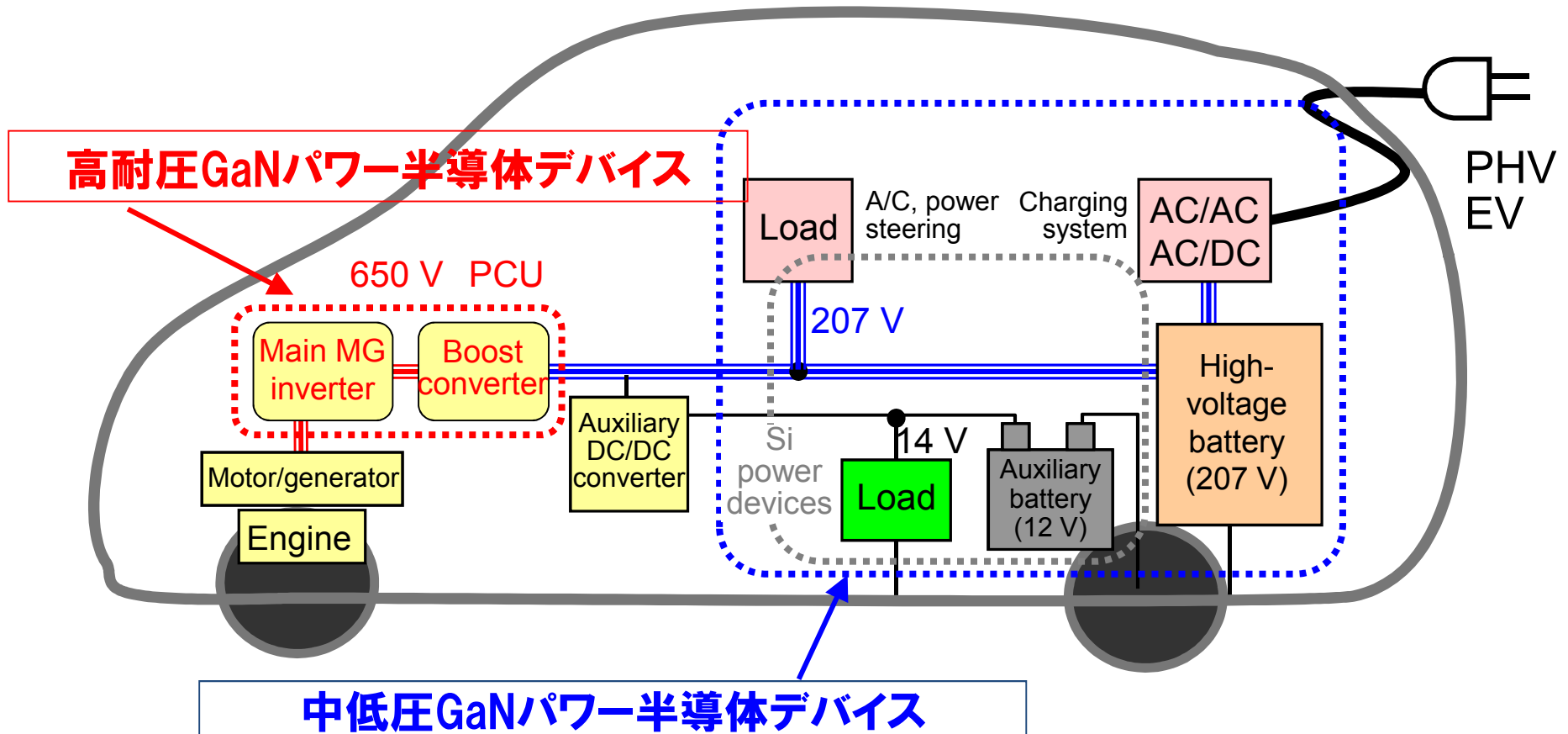


電車などのモーター



ACアダプタの小型化によりPCに内蔵可能!

GaNパワー半導体は次世代環境車のコア技術



GaNデバイスによる2030年におけるCO2削減量予測

CO2削減量 (2030年度時点)

取組内容	CO2削減量
電気自動車	1,000,000t-CO2
パワーコンディショナー	170,000t-CO2
野外照明	490,000t-CO2
データサーバ	1,400,000t-CO2
マイクロ波加熱ヒーター	6,300,000t-CO2
電力インフラ	540,000t-CO2
ハイブリッド車	740,000t-CO2
合計	10,640,000t-CO2

日本のCO2排出量の2%相当

※国内におけるCO2削減量を算出