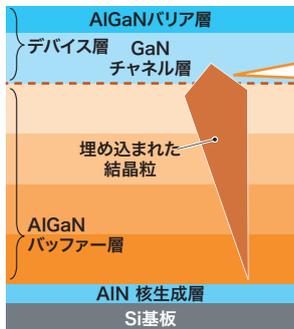


高信頼性パワーデバイスの実現に向けた 大口徑 GaN-on-Si 基板作製技術

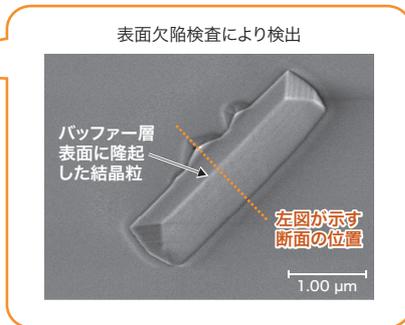
研究開発
カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミー



GaN-on-Si基板の断面構造

AlGaIn: 窒化アルミニウムガリウム

高速成長 GaN-on-Si 基板の断面構造とバッファ層表面に露出した結晶粒の鳥かんSEM像
Cross-sectional structure of rapidly grown gallium nitride-on-silicon (GaN-on-Si) wafer substrate and bird's-eye-view scanning electron microscope (SEM) image of crystal grains embedded in aluminum gallium nitride (AlGaIn) buffer layer



バッファ層表面の鳥かんSEM像

バッファ層形成条件	結晶粒密度 (千個/ウエハー)	歩留まり (%)
高速成長	47	9
高速成長+結晶粒密度低減	2	100

バッファ層の結晶粒密度低減前後の歩留まり比較

Comparison of yields before and after buffer layer grain density optimization

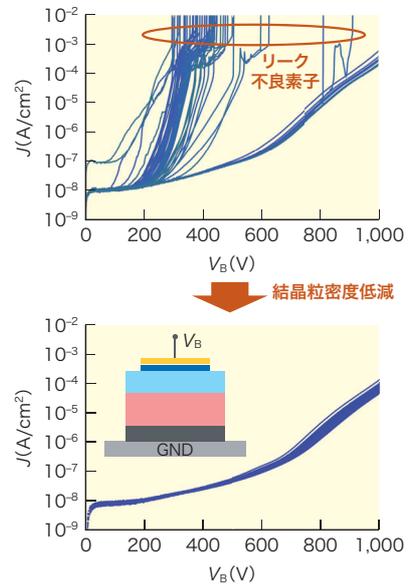
高耐圧性と高速動作性を兼ね備えた化合物半導体であるGaN(窒化ガリウム)パワーデバイスは、高エネルギー効率な電力変換器を実現するためのコアコンポーネントとして、電気自動車やデータセンターなどの領域で需要が急速に拡大している。

このデバイスの優れた性能と高信頼性を確保し、普及を加速するには、高品質かつ低コストなGaN基板の供給が不可欠である。このため、大口徑Si(シリコン)ウエハーを支持基板とし、その上にGaN結晶を成長させたGaN-on-Si基板の開発を進めている。GaN-on-Si基板のコストメリットを最大化するには、GaNとSiの格子定数差を緩和する厚いバッファ層の形成時間を短縮し、スループット向上を図ることが重要となる。一方、高速成長プロセスで作製した基板上のデバイスでは、基板垂直方向(縦方向)のリーク不良の増加による歩留まり低下への対応が課題となっていた。

この課題の解決に向け、リーク不良素子の物理分析を実施し、バッファ層中に埋め込まれた微小な結晶粒が、電流リークの要因であることを突き止めた。更に解析を進めた結果、これらの結晶粒がデバイス層から一段深い位置にあるバッファ層表面において、凸状に隆起した形態をとることを見だし、この知見を基に、バッファ層表面での欠陥検査による結晶粒密度の定量化を品質指標とする独自の評価手法を確立した。この指標に基づきバッファ層形成条件を最適化した結果、結晶粒密度を大幅に低減するとともに、高速成長GaN-on-Si基板における縦方向耐電圧性能と歩留まりの顕著な改善を達成した。

開発した技術により確立した高品質・高生産性の基板製造プロセスは、今後見込まれるGaNパワーデバイス市場の需要拡大への対応、及びカーボンニュートラル社会実現への貢献が期待できる。

この成果の一部は、NEDO(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)の助成事業(JPNP21029)の結果得られたものである。



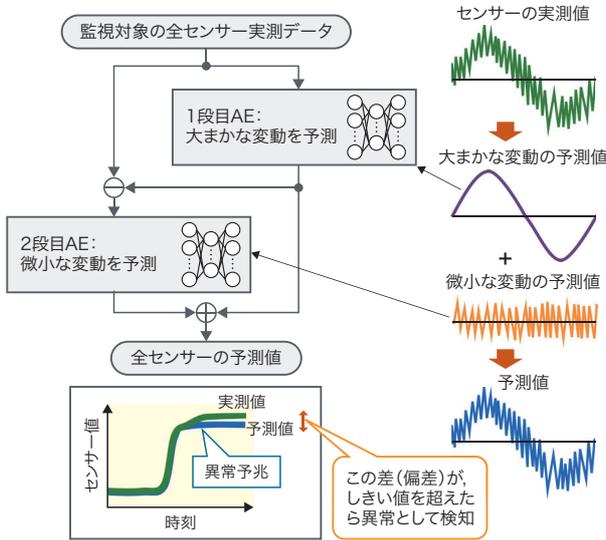
結晶粒密度低減前後の縦方向耐電圧特性

Improvement of vertical electrical properties of power devices fabricated on rapidly grown GaN-on-Si substrate with reduced grain density

総合研究所 先端デバイスR&Dセンター

大規模プラントの状態変化に埋もれた異常を早期かつ高精度に検知する異常予兆検知AIの効果検証

異常予兆検知AI:2段階オートエンコーダー



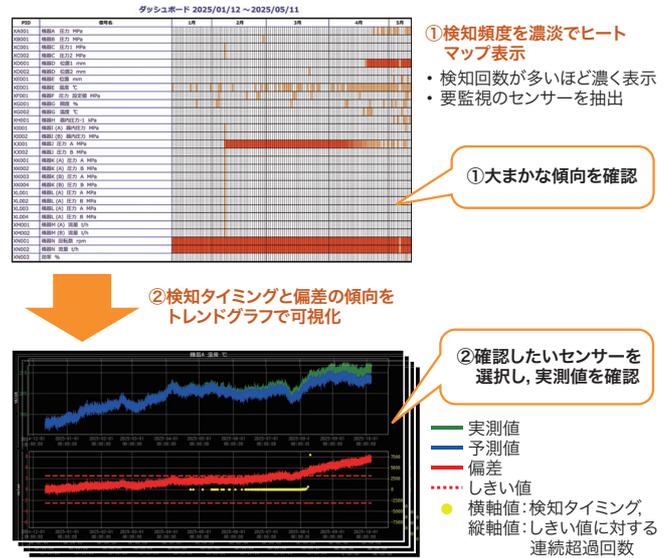
大まかな変動と微小な変動のそれぞれで最適な設計したAEで学習し、出力を加算することで、高精度な予測を実現

AE:オートエンコーダー

2段階オートエンコーダーの構成

Two-stage autoencoder operation

ユーザーインターフェース:原因特定に向けた人間系の判断をサポート



効率的な監視により、監視の負荷を減らし、対策立案にリソースを割く

ユーザーインターフェース

User interface

大規模で複雑なプラントでは、設置されている数千点のセンサーから得られる膨大な時系列データを監視し、早期に異常を検知する必要がある。このため、これまで、異常予兆検知AI“2段階オートエンコーダー”を開発してきた。このAIに膨大な時系列データにまたがる複雑な関係を学習させることで、プラントの状態変化の中に埋もれ、従来は捉えられなかった異常の兆候を、早期かつ高精度に検知できる。この検知によって、異常や劣化の状態に応じたメンテナンスが可能になり、状態基準保全による効率的なプラントの運用・保守と稼働率の向上が見込める。2020年から2022年までの期間に、東芝エネルギーシステムズ(株)の子会社である(株)シグマパワー有明が運営する三川発電所で実証試験を実施し、大量のデータのオンライン監視を通して、埋もれた異常予兆を早期に検知できることを確認した。2024年2月に、SaaS (Software as a Service) 版の電力事業者や製造業向けデジタルサービス“TOSHIBA SPINEX for Energy”にて、このAIのクラウドサービスとオンプレミスでのサービスの提供を開始した。

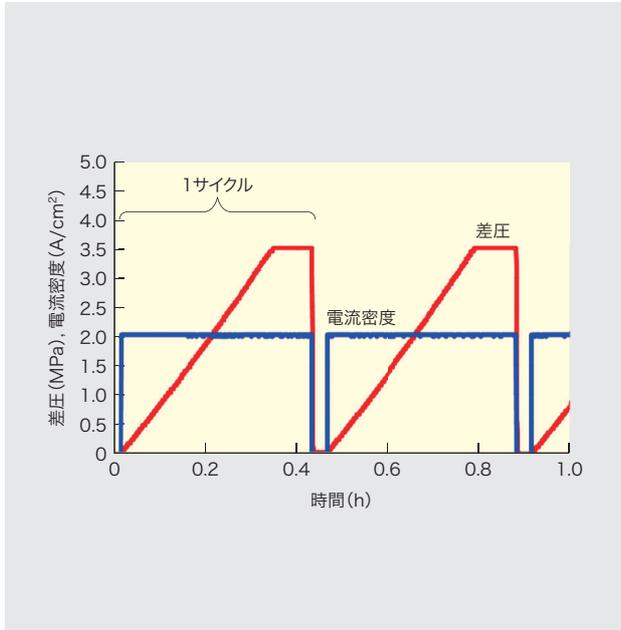
2024年11月から、2段階オートエンコーダーを用いた異常予兆検知システムの効果検証を目的として、東北電力(株)の協力の下、女川原子力発電所2号機の運転データ評価のトライアルを実施している。この評価では、以下を行っている。

- (1) 異常予兆検知システムにより、発電所の様々なシステムや機器の状態に関する温度・圧力・流量など、千数百点の運転パラメーターを一括で監視して、人間の目では判別が難しい異常の兆候を早期に検出する。
- (2) 異常兆候が検知された運転パラメーターについては、人間系で継続的に計測値トレンドの監視・評価を行い、警報が発生する前に処置の検討を行う。

このような異常予兆検知システムの活用により、人間系での監視だけではまだ見落としてしまう運転パラメーターの異常兆候を予兆の段階で早期に検知できており、実際に効果を発揮している。

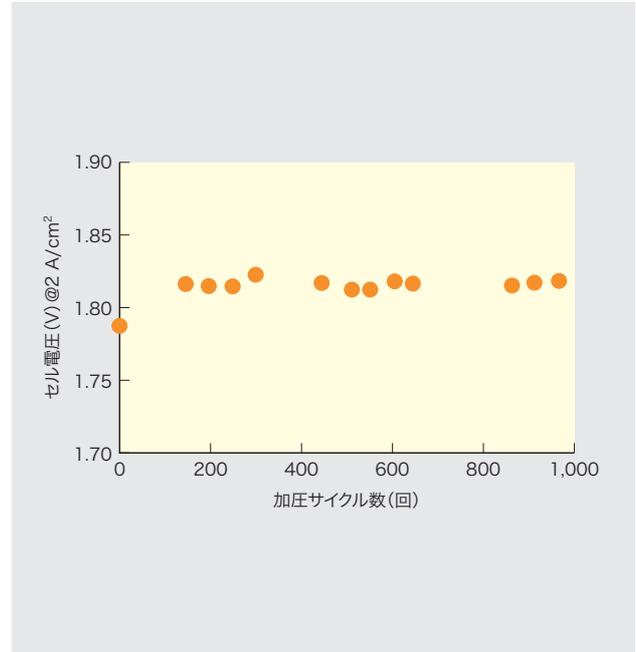
総合研究所 AIデジタルR&Dセンター

高圧ガス保安法に準拠したPEM水電解評価技術の構築 及びこれを用いた省イリジウムMEAの高耐久性の実証



加圧サイクル試験での加圧パターン

Pressure cycling profile for testing membrane electrode assembly (MEA) durability



加圧サイクル数とセル電圧の関係

Correlation between pressurization cycles and MEA cell voltage

水電解によってグリーン水素（再生可能エネルギー由来の水素）を製造し、貯蔵・輸送を可能にするPower to Gas (P2G) 技術において、高圧ガス保安法に準拠し、最大5 MPaの差圧運転が可能な評価環境を構築するとともに、触媒であるイリジウムの使用量を従来比で1/10に低減した膜電極接合体（MEA：Membrane Electrode Assembly）の加圧サイクル試験を実施し、高耐久性を確認した。

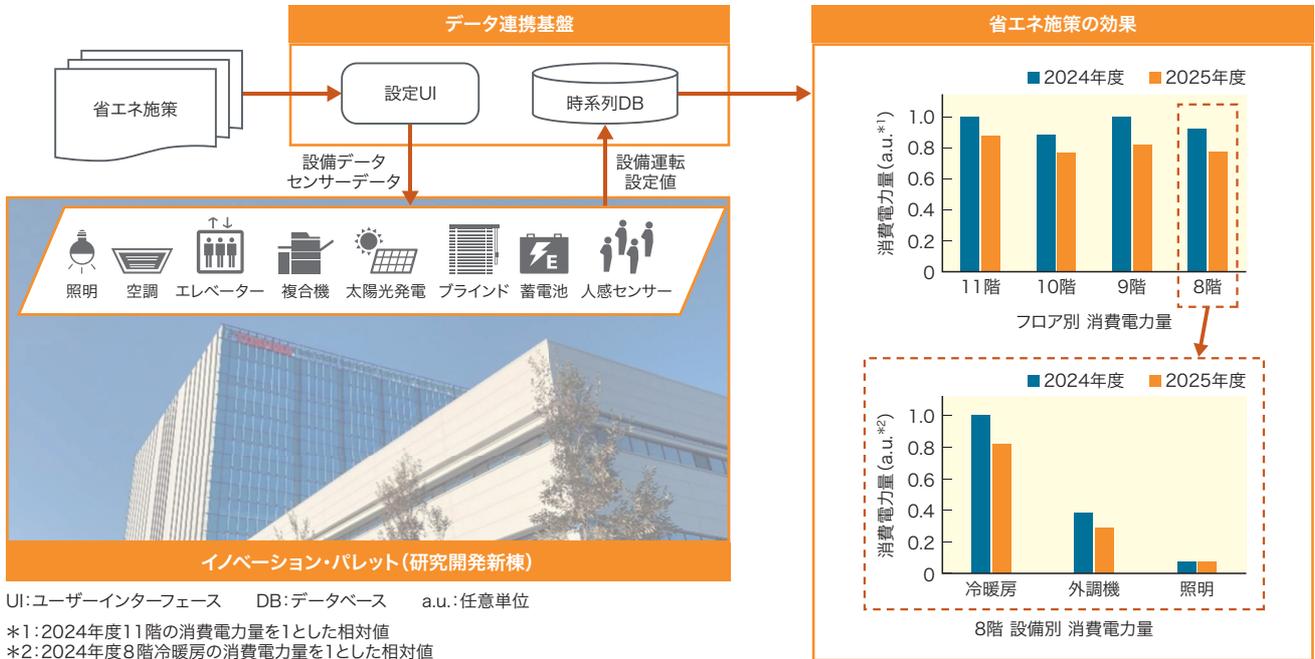
P2Gにおいてグリーン水素を製造するPEM（Proton Exchange Membrane）水電解は変動対応性と耐久性に優れるが、希少なイリジウムを大量に使用する問題がある。このため、酸化イリジウムナノシート積層技術により、イリジウム量が従来の1/10でも同等の特性が得られる省イリジウムのMEAを提案しているが、海外でMEAを適用する場合、水素ガスの貯蔵と輸送の観点から2～5 MPaの加圧運転で性能と耐久性を保証する必要がある。

従来、国内で1 MPa以上の試験を実施するには、高圧ガス保安法への準拠が必要なため評価が困難だったが、今回、関係機関と調整し、最大5 MPaに対応可能なPEM水電解評価装置の導入に成功した。

この評価装置を用いて、起動停止を想定した高圧（3.5 MPa）と常圧を繰り返す加圧サイクル試験を実施した結果、MEAの劣化はほぼ認められず、優れた耐久性を実証できた。

今後、高効率化を目指して開発が進められている薄膜タイプの次世代電解質膜と組み合わせた評価により、P2Gの普及に貢献する。

複数設備のデータ連携による消費電力低減を実証した 省エネソリューション支援システム



UI:ユーザーインターフェース DB:データベース a.u.:任意単位
 *1:2024年度11階の消費電力量を1とした相対値
 *2:2024年度8階冷暖房の消費電力量を1とした相対値

省エネソリューション支援システム
 Energy-saving solution support system

ビルやオフィスでカーボンニュートラルを実現するには、居住者の快適性を維持しながら空調や照明などの設備運用を効率化し、エネルギー消費を削減することが重要である。これまで、ビル内では、照明設備や冷暖房設備、換気設備など複数の設備が個別に管理・運用されているため、統合的な運用による省エネ効果の最大化が困難であった。

この課題に対し、需要家に省エネソリューションを提供する事業の実現を目指し、Web API (Application Programming Interface) によって複数設備を統合的に管理し省エネを実現する、データ連携基盤技術を開発した。この技術により、空調制御システムや照明制御システム、人感センサーを用いた計測システムなどの複数のシステム間で、ライブデータをリアルタイムに共有することが可能となり、スムーズな複数システム間連携を実現した。その結果、省エネ施策を実施するために必要となる運転パターンを統合的に設備へ適用することが可能になった。

このデータ連携基盤技術を搭載した“省エネソリューション支援システム”を東芝グループの研究開発新棟である“イノベーション・パレット”内に構築し、省エネ施策を実行してその有効性を検証した。実証試験は、2025年7月から8月まで2か月間実施し、人感センサーのデータを利用して居住者の在/不在によって空調と照明をオン/オフすることや、時間帯によって指定エリアの照明を調光すること、などの省エネ施策を実施した。これにより、2024年度の同期間と比較して、イノベーション・パレットの8階から11階までの消費電力が約12%低減していることを確認した。

今後も、引き続きイノベーション・パレットでの実証を行い、省エネソリューションの事業化に向けた効果の確認や運用の最適化、機能の拡張などを進め、ビル・オフィスのカーボンニュートラル実現に貢献していく。

関係論文：東芝レビュー、2025、80、6、p.15-19.

総合研究所 エネルギーシステムR&Dセンター