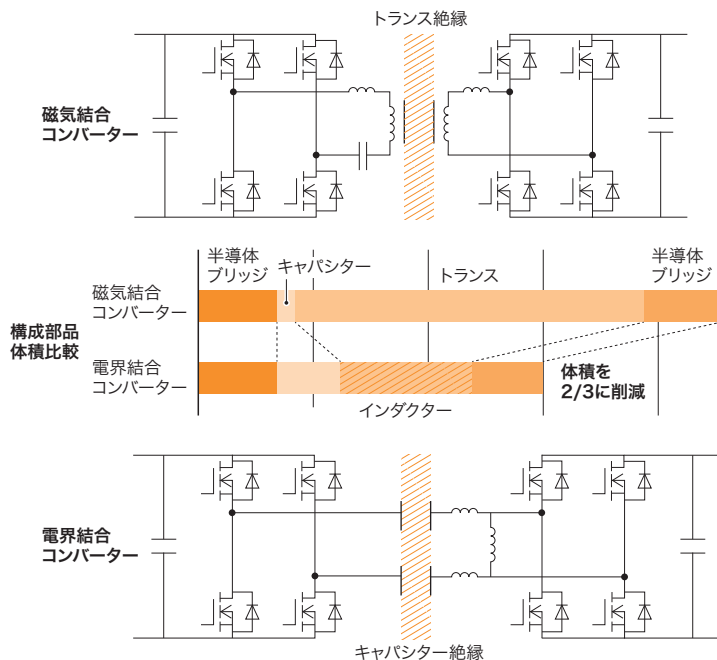
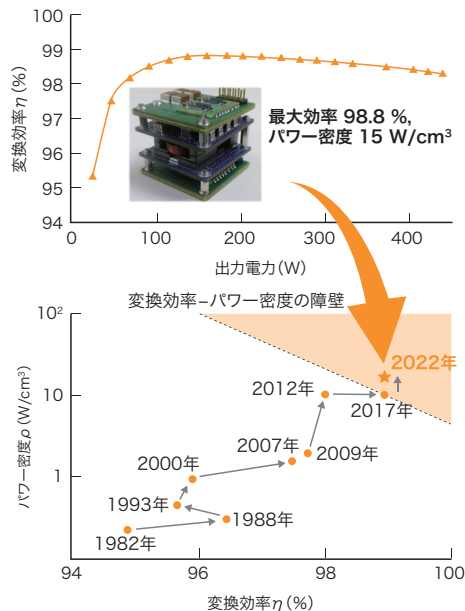


パワーエレクトロニクスシステムの小型・高効率化に貢献する電界結合コンバーター

研究開発
カーボンニュートラル



電界結合コンバーターに期待される電力変換器の小型化
Capacitively coupled DC-DC converter achieving higher efficiency and smaller size



48 V, 450 W 電界結合コンバーターの試作と高パワー密度化効果の実証
Results of demonstration of 15 W/cm³ prototype capacitively coupled DC-DC converter

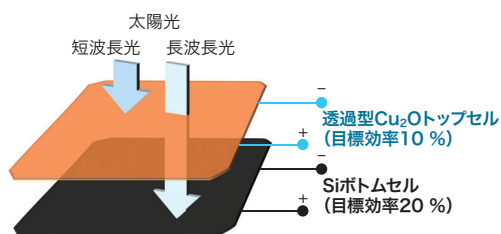
再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）による電力や蓄電池を電力系統と接続・制御する電力変換器のパワー密度（変換器の小型化効果を表す性能指標、出力電力値を変換器体積で除したものは、過去数十年の間、パワーデバイスの性能向上に伴って増加を続けてきた。しかし、パワーデバイスの性能が劇的に向上した結果、相対的に受動部品の影響が顕在化し、現在ではインダクターや高周波トランスなどの性能が、電力変換器の高パワー密度化の主な障壁となっている。そこで、電力変換器のパワー密度を更に高めるため、電界結合方式を適用した絶縁形DC（直流）-DCコンバーター（以下、電界結合コンバーターと略記）を開発した。

電界結合コンバーターは、高周波トランスの代わりに直列キャパシターを用いて電氣的に絶縁する電力変換器である。これを適用することで、従来の絶縁形DC-DCコンバーター（以下、磁気結合コンバーターと略記）の構成要素の中で体積比率の大きい高周波トランスが不要になり、電力変換器の小型化が可能になる。電界結合コンバーターは、単体で大きい入出力電圧比を持つ電力変換器を実現することは困難であるが、複数台を直列・並列接続することにより、コンバーター単体のパワー密度を維持したまま、多様な入出力電圧の電力変換器を容易に構成できる。

低電圧の太陽光発電システムや蓄電池システムと相性の良い380 V直流給電システムをモチーフとして、48 V-48 V, 450 Wの電界結合コンバーターを試作した。実証試験の結果、磁気結合コンバーターのトップクラスの性能である最大効率99%、パワー密度10 W/cm³と比較して、電界結合コンバーターは、最大効率を維持したまま、パワー密度が1.5倍の15 W/cm³（出力電力：450 W、体積：30 cm³）へ大幅に向上したことを確認した。また、試作した電界結合コンバーターを8台用いて、48 V-384 V変圧動作を達成し、380 VのDC給電システムに接続して運用できることを示した。

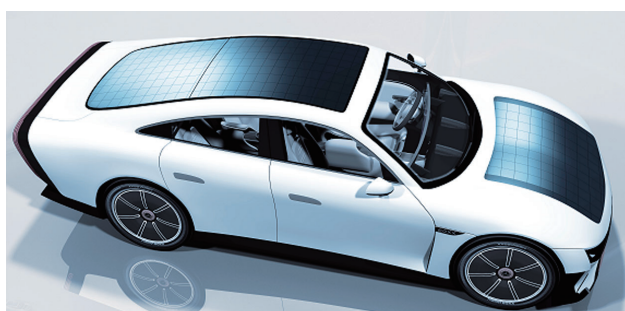
研究開発センター

Cu₂OとSiを用いた高効率で低コストのタンデム型太陽電池



タンデム太陽電池の模式的な構造図

Schematic diagram showing structure of cuprous oxide (Cu₂O)-silicon (Si) tandem solar cell



Cu₂O/Siタンデム型太陽電池を搭載したEVのイメージ

Rendering of electric vehicle equipped with Cu₂O-Si tandem solar cells



Cu₂Oセルサイズの段階的な大型化

Enlargement of size of Cu₂O cell under development

太陽光発電を社会全体に広く普及させるには、太陽電池の更なる高効率化と、低コスト化が必要である。

従来の高効率太陽電池には、ガリウムヒ素半導体などのIII-V族半導体を結晶成長技術で積層したタンデム太陽電池があるが、製造コストが結晶Si(シリコン)太陽電池の数百倍から数千倍と高く、幅広い製品に適用するには向いていない。そこで、当社が2019年に開発に成功した亜酸化銅(Cu₂O)からなる透過型セルを、結晶Siセルに積層した高効率・低コストタンデム型太陽電池の開発を進めている。キーデバイスの透過型Cu₂Oセルは、III-V族半導体と比べて、基板、素材、及び装置がいずれも安価な点が特長である。現在、発電効率30%台のタンデム太陽電池技術の開発を進めており、それを実現する透過型Cu₂Oセルの目標効率は10%である。

2022年9月、透過型Cu₂Oセル(セルサイズ10×3mm)の発電効率を、世界最高^(注)の9.5%まで改善することに成功した。これは、2021年に公表した自らの記録を更新し、目標効率にあと0.5ポイントと迫る高い値である。このCu₂Oをトップセルに、25%の結晶Siをボトムセルに適用したCu₂Oタンデムは、発電効率28.5%と試算され、この値は、26.7%程度とされるSi太陽電池を大きく上回る。高効率タンデム型太陽電池の実現により、限られた設置面積でも供給できる電力を増やせることから、例えば、太陽光エネルギーで走行する“充電なしEV(電気自動車)”の実現が期待できる。

今後は、タンデム型太陽電池の実用化に向け、透過型Cu₂O太陽電池の大型化開発に取り組む。セルサイズを段階的に大型化し、2025年度をめどに、Si太陽電池と同じ量産サイズ(125×42mm)のCu₂Oセル製造技術の確立を目指す。また、Cu₂OとSiのタンデム型太陽電池の更なる効率向上を図り、充電なしEVをはじめとするモビリティへの応用につなげ、将来のカーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

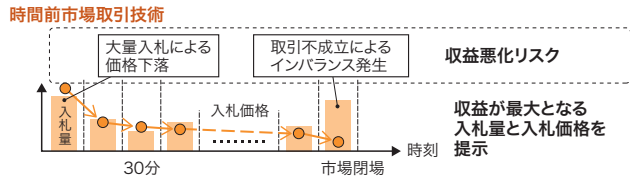
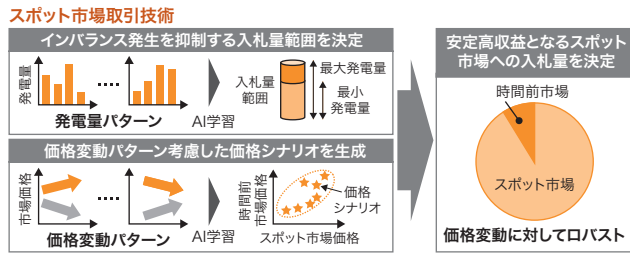
この成果の一部は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

(注) 2022年9月現在、透過型Cu₂O太陽電池として、当社調べ。

■ 再エネの電力取引市場での最適取引技術



再エネアグリゲーションサービスの概要
Overview of renewable energy aggregation service



電力市場取引技術
Spot market and intraday market trading technology

研究開発センター

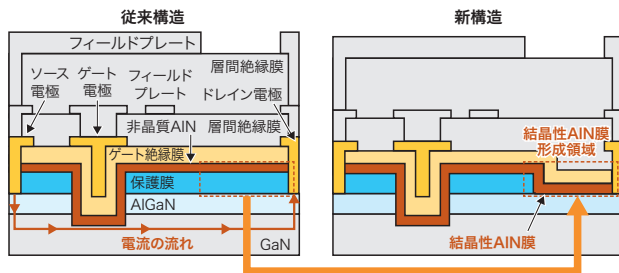
再エネアグリゲーションサービスでは、発電事業者の再エネ電源を束ね、電力取引市場を通して、電力の安定供給に貢献して収益を得る。当社は、再エネ電源からの電力をJEPX（一般社団法人 日本卸電力取引所）のスポット市場（前日取引）及び時間前市場（当日取引）で、インバランス（売電計画と発電実績とのずれに対して発生するペナルティー）の発生を抑えながら、安定高収益となる入札量と価格を算出する技術を開発した。

スポット市場取引技術では、AI学習とシナリオ最適化手法によりインバランス発生リスクを抑えた上で安定高収益となる入札量を算出する。

時間前市場取引技術では、収益悪化リスクを考慮し、30分ごとの最適な入札量と入札価格を算出する。最適入札手順を効率良く発見する探索手法を開発したことで、短時間で安定高収益となる入札手順を算出できる。

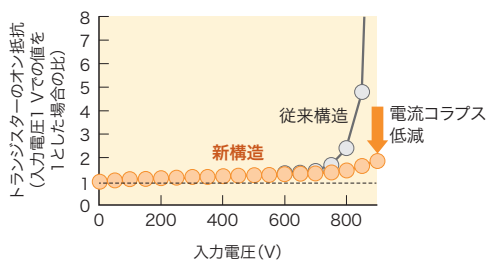
これらの技術は、経済産業省の令和3年度及び令和4年度「再生可能エネルギーアグリゲーション実証事業」や、2022年に開始した当社の再エネアグリゲーションサービスで活用する。

■ 選択的単結晶形成法の適用で高信頼性を実現した MOS 型 GaN パワートランジスター



AlGaN：窒化アルミニウムガリウム

MOS 型 GaN パワートランジスターの断面構造
Cross-sectional structure of metal-oxide-semiconductor (MOS) type gallium nitride (GaN) power transistor



従来構造と開発した構造のオン抵抗の比較
Comparison of on-resistance of conventional and newly developed structures

研究開発センター

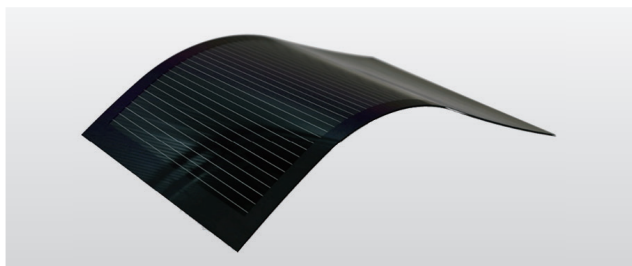
データセンターやサーバー電源の省エネ化への貢献が期待される GaN（窒化ガリウム）パワー半導体を用いた、MOS（金属酸化膜半導体）型ゲート構造トランジスターにおいて、オン抵抗変動が小さく、高信頼性の独自の新規構造を提案し、その効果を確認した。

GaN トランジスターには、入力電圧の増加に伴いトランジスターのオン抵抗が増加する電流コラプスと呼ばれる現象がある。電流コラプスは、トランジスターの電力損失や故障の原因となるため、高信頼性化のために、抑制する必要がある。

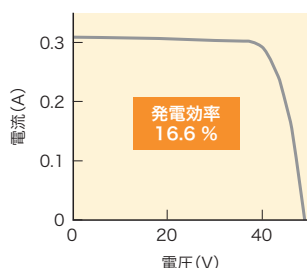
まず、電流コラプスの要因解明のために、トランジスターの電気特性の詳細な評価解析を行った。その結果に基づき、高品質な単結晶 AlN（窒化アルミニウム）層をトランジスター構造の一部に形成する、独自の新規構造を提案して試作した。

提案した新規構造では、従来構造と比較して、電流コラプスによるオン抵抗増加を最大で約 90% 抑制できることを確認した。これにより、高信頼性の MOS 型 GaN パワートランジスターを実現できることが示された。

■ 膜の均一性向上によるフィルム型ペロブスカイト太陽電池の高効率化



フィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュール
Film-based perovskite photovoltaic module



発電効率16.6%を達成したフィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュールの電流-電圧特性
Current-voltage curve of module achieving power generation efficiency of 16.6%

フィルム型ペロブスカイト太陽電池は、軽量・薄型で曲げやすい特長を持つ。従来、重量のある結晶シリコン太陽電池を置けなかった耐荷重の低い屋根の工場やビルの壁面などにも設置できるため、再エネの利用拡大を可能にする技術として開発を進めている。

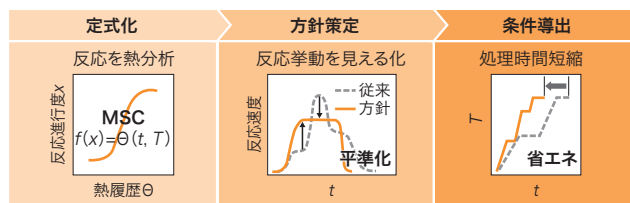
1種類のインクを1回塗布することでペロブスカイトの膜を形成できる、当社独自の成膜法“1ステップメニスカス塗布法”において、塗布・乾燥工程の改善などにより、ペロブスカイト膜の膜厚むらや欠陥部の低減を図った。その結果、面積703 cm²フィルム型モジュールの発電効率を、2021年発表の15.1%から16.6%に高めることに成功した。これは、膜質が良くなったことにより、素子内からの電荷の取り出しやすさが向上したためと考えられる。この発電効率は、大面積フィルム型の世界最高効率^(注)を更新した。

この成果は、NEDOの委託事業の結果、得られたものである。

(注) 2022年10月現在、プラスチック基板上に構成される受光部サイズ400 cm²以上のペロブスカイト太陽電池モジュールにおいて、当社調べ。

研究開発センター

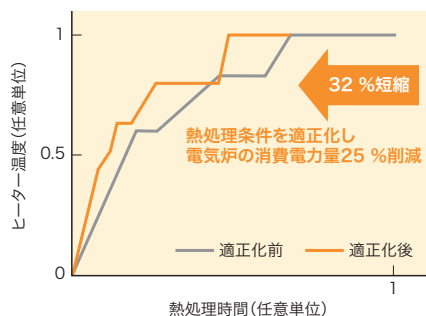
■ 電力消費量を低減する熱処理条件の設計技術



t: 時間 T: 温度

熱処理条件の適正化フロー

Flow of processes to optimize heat treatment conditions of electric furnace



熱処理条件の適正化による効果

Effect obtained by optimization of heat treatment condition

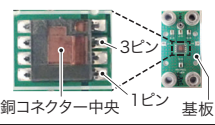
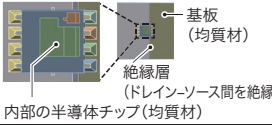
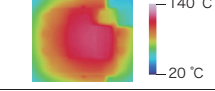
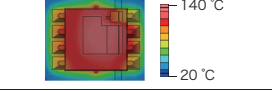
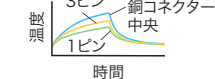
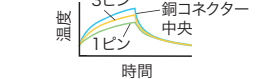
金属やセラミックスの焼成や樹脂の硬化などに使用される電気炉の電力消費量は、製造業における全消費量の上位を占める。そのため、これらの熱処理工程を効率化することによって、電力消費量の大幅な低減が期待できる。しかし、従来の熱処理条件は、経験則に基づき、温度と処理時間に大幅なマージンを付加して設定される場合が多く、適正に設計する技術が求められていた。

今回、材料の反応進行度を定式化するマスターカーブ(MSC)を用いて熱処理条件を適正化する設計技術を確立した。MSCは熱処理に伴う反応を理解し、反応熱・質量・熱収縮などの物理量の変化を熱分析により定量化して定式化したものである。この技術はMSCに基づき、炉内の温度分布を考慮して適正な熱処理条件を設定する。セラミック製品の脱脂工程にこの技術を適用した結果、品質を維持しながら、電気炉の電力消費量を適正化前に比べて25%削減できた。

今後、この技術を東芝グループ製品の熱処理工程に展開して消費電力量を低減し、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

生産技術センター

■ 設計早期に故障リスクを予測できるパワー半導体の熱解析モデル作成技術

比較項目	実測	開発した技術による解析
外観		
温度分布 (最高時点)		
温度挙動		

*評価用に内部を露出

半導体パッケージ通電時の温度挙動の比較

Comparison of measured and simulated temperature behavior during energization of semiconductor package



熱解析モデル作成技術によるLT短縮

Shortening of lead time through application of technique to create thermal simulation model

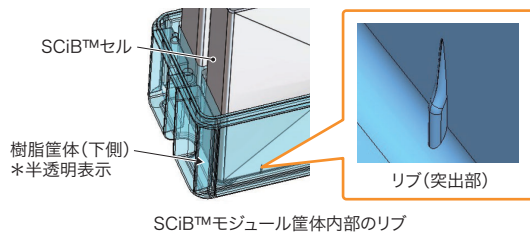
生産技術センター

パワー半導体の大電流化や小型化が進んでおり、熱負荷による故障増が懸念されている。パワー半導体の信頼性確保のために、通電時の熱負荷を設計早期に予測する必要がある。従来技術では、半導体チップや基板などの複雑な内部構造、及び基板の設置環境を再現する熱解析モデルが複雑になり、モデル化のLT（リードタイム）が長期化する問題があった。

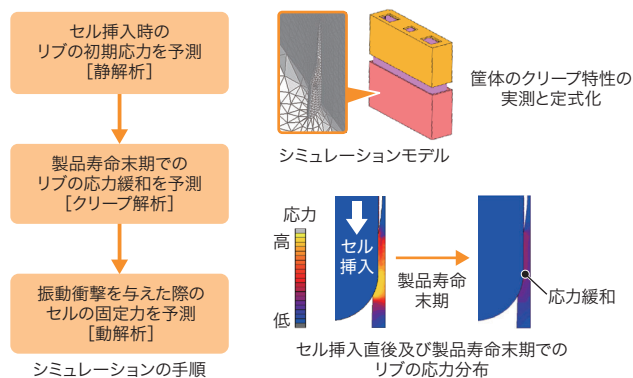
この度、パワー半導体通電時の半導体チップから基板外部への放熱特性を、構造や放熱経路も考慮して予測する熱解析モデルの作成技術を開発した。パワー半導体の電気抵抗率の温度依存性を電流-電圧特性から、基板の放熱経路の熱伝導率・熱容量を過渡熱温度測定結果から、フィッティングしてモデル化する技術を新たに導入した。この結果、製品設計に必要な、熱の分布や構造変更の影響を、短時間で予測できるようになった。

この技術の確立で、モデル化のLTを約80%削減し、精度を維持しつつ故障リスクを予測できるようになり、信頼性を確保できるパワー半導体の設計を可能にした。

■ SCiB™ モジュール製造の環境負荷を低減するセル固定手法



SCiB™モジュール筐体内部のリブ



製品寿命末期でのSCiB™セルの固定力を予測するシミュレーション技術
Simulation technology to predict anchoring force of SCiB™ cell at end of product lifetime

生産技術センター

カーボンニュートラル社会の実現に向け、リチウムイオン二次電池SCiB™のセル、及び複数のセルを組み合わせたモジュールを製造している。従来のモジュール製造では、樹脂筐体（きょうたい）にセルを固定するのに接着剤を使用しており、製造コストと環境負荷の低減が課題であった。

そこで、樹脂筐体内に微細な突出部であるリブを設け、セル挿入時にリブを圧縮変形させることで高い固定力を得る手法を開発した。樹脂筐体のクリープ特性を考慮して、製品寿命末期でのセルの固定力を予測するシミュレーション技術を構築し、モジュール設計部門と連携してリブ形状の適正化を行った。

開発したセル固定手法を産業用モジュールに採用し、接着剤を使用しなくても耐振動・衝撃性能を満足するモジュール製造を実現して、環境負荷の低減に寄与した。更に、設計標準化を行った上で新規モジュールに適用したところ、同様に耐振動・衝撃性能を満足し、設計の妥当性が確認できた。この手法による新規モジュールは、2023年に量産開始予定である。