

2013年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2013

〔1〕 研究・開発

当社は、1917年の創立以来、受変電設備を主力製品として、日本あるいは世界の電力の供給に貢献してきた。日本においては、地球温暖化と国内エネルギー自給率が低いという背景もあり、再生可能エネルギーである太陽光発電や風力発電などが導入されて来ると共に、従来からの大規模な発電所から消費地へという電力供給の形が変化してきた。このような動きに呼応して、国内でスマートグリッドへの取り組みが本格化し、東日本大震災後、その重要性は益々高まってきている。

これに対して、当社は、受変電システム技術、系統解析技術などのコア技術を駆使し、従来からの受変電設備を、監視制御装置で培ったICT（情報通信技術）で統合した、SPSS（Smart Power Supply Systems）という新しいエネルギー供給の形を模索しているところである（詳細は、本号の一般論文「スマート電力供給システム（SPSS）の概要と実証システムでの検証」の項を参照。）。

一方、当社は、このような受変電システムや監視制御システムの他にも、モバイル機器や大型TVの液晶画面を製造する装置などICTの基盤となる半導体／デバイスの開発、機能材料の製造装置・プロセス開発など、ビーム・真空応用分野にも注力している。

また、お客様に納入した電力機器などが大きな事故に至らないように、機器の診断などを行うライフサイクルエンジニアリング事業にも注力している。

以下に、電力機器、エネルギー、ビーム真空応用の各ドメインにおける2013年の研究成果を紹介する。

1. 1 新規電力貯蔵デバイスの開発

当社では、電力貯蔵用途を目指した新規電力貯蔵デバイスを開発している。電力貯蔵デバイスの大きな課題のひとつはコストである。揚水発電所のコストは約3万円/kWh、エネルギー密度は約1Wh/L、システム効率は約70%であるが、電力貯蔵デバイスが既存技術よりコスト高では普及が難しい。そのため、今後巨大市場が生み出される電力貯蔵デバイス市場に参入するには、揚水発電所のコスト以下の安価な電池（暫定目標：10時間容量で2万円/kWh）が必須と考え、それを開発の狙いとしている。

コスト目標を達成するため、電力貯蔵デバイスを安価な材料だけで構成し、しかも中性に近い電解質（安定化剤を使用）で動作する系を探索している。課題は以下の3点があげられる。①エネルギー密度、効率、サイクル寿命、コストの4点全てが揃う中性に近い電解質で動作する活物質の探索。②十分安価な膜・電極・集電板の探索。特に、中性の電解質であるが故に、導電率が低くなるため電池の抵抗が大きくなることによるコストアップ（体積や重量の増大）を補えるものでなければならな

い。③体積や重量でのコストアップ要因に対して、電池全体のコストとしてどのように抑え込むか。

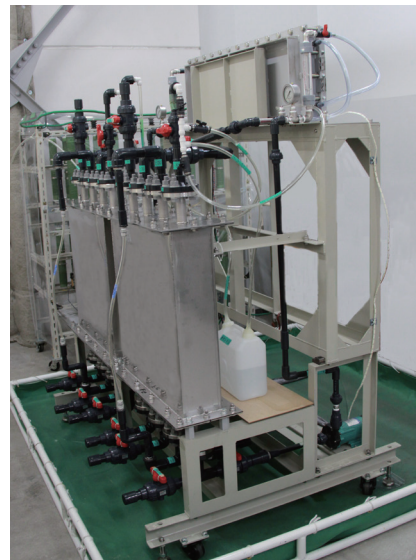


図1 新規電力貯蔵デバイス・テスト機

現在は、主要な構成要素である電池セルはコンデンサ製造技術と高い類似性を有していること、当社技術を活用（膜：EBグラフト技術、電極：電極塗工技術）する

ことで独自性が出せるという利点を最大限に活かして、これらの課題解決に取り組んでいる。

1. 2 ガス絶縁開閉装置（GIS）用部分放電診断装置の性能向上開発

ガス絶縁開閉装置（GIS）などの電力設備の内部部分放電を検出する技術は、機器の信頼性を維持する上で極めて重要な技術である。これまで当社は、GISの保守合理化・信頼性維持・事故障害未然防止に有効な、ガス中で発生する部分放電を検出対象とした絶縁診断装置を開発・製品化してきた。

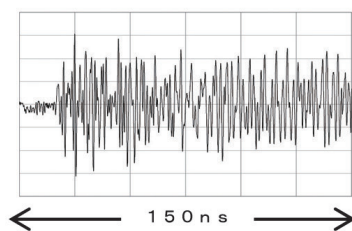
ガス中で部分放電が発生した場合の電磁波は、放電電流と相関のあるTEMモードとGIS管路内伝搬により誘起されるTEおよびTMモードから構成されるUHF帯を主成分とした振動性波形（図2（a））となり、比較的安定して発生する。一方で、海外で事例の多い絶縁スペーサ内のボイドやクラックにより発生した部分放電

による電磁波は、HF帯を主成分としたTEMモードから構成されるため、振動性波形ではなく（図2（b））、その発生頻度も低い。

2013年は、絶縁スペーサ内のボイドやクラックに起因する部分放電の信号様相にも対応するため、診断周波数の拡大や検出感度の向上、およびノイズ分別機能を強化するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

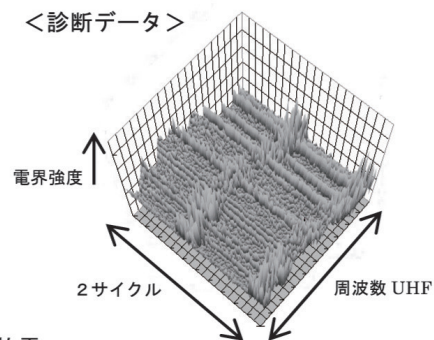
今回の開発により、ボイドやクラックによる部分放電の高感度の検出が可能になると共に、ガス中で発生する部分放電の検出に対しても、従来装置以上の検出感度を得ることが可能となった。

＜放電電磁波波形＞

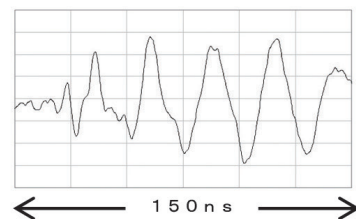


（a）ガス中放電

＜診断データ＞



＜放電電磁波波形＞



（b）ボイド放電

＜診断データ＞

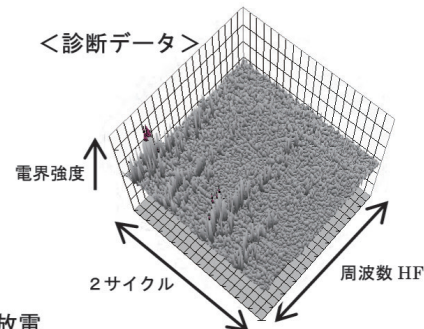


図2 検出事例

1. 3 高電位部への電力供給に適した非接触給電技術の開発

電子線照射装置（EPS）やイオン注入装置などでは、電子やイオンを生成するための電力を、高電位部に供給する必要がある。このような用途に、近年電気自動

車の充電装置として注目されている非接触給電技術の適用を図った。図3にEPSに非接触給電を適用した場合のイメージ図を示す。タンクの上部の送電コイルか

ら、所定の絶縁距離離れ、静電シールド内に配置した受電コイルに、フィラメント電力を給電する構成を想定している。

図4に送受電コイルと実験に使用した模擬シールドを示す。模擬シールドは簡単化のためアルミの板と円筒で構成した。シールドには、磁気結合を改善するため、送電コイルと対抗する部分に開口部を、さらに側面に沿ってスリットを設けている。

表1にコイル間距離300mmで20kHz、100W給電した場合の効率を示す。コイル単体の場合、20kHzの比較的低い周波数でも88.7%の高い効率で100W給電することができた。シールドを設けた場合は、開口部のみでは効

率54.9%であったが、同時にスリットを設けることで、81.1%（コイル単体時の90%以上）の効率を達成できた。

表1 コイル間距離300mm、20kHz、100W給電時の効率

シールドの構成	コイル単体	開口部のみ	開口部とスリット
結合係数	0.0816	0.0197	0.0531
給電効率	88.7%	54.9%	81.1%

以上のように、本技術は非常に有用な技術であり、今後は広く製品に適用し、品質・性能向上に貢献していきたい。

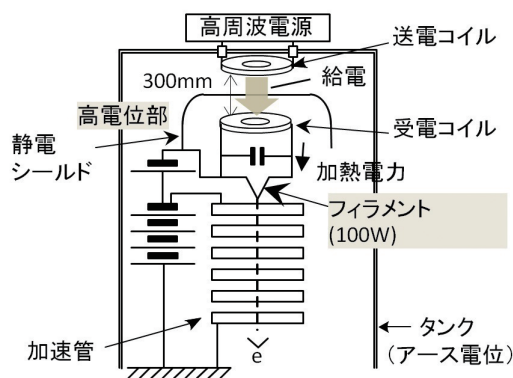


図3 非接触給電を適用した電子線照射装置の概念図

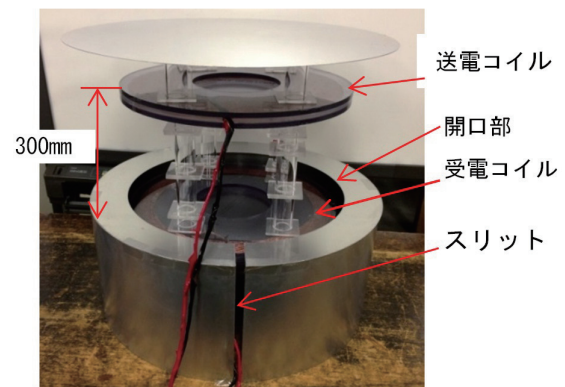


図4 実験モデル（送受電コイルと模擬シールド）

1. 4 IGZOパネル向け製造装置の開発

In-Ga-Zn-O₄ (IGZO) に代表される酸化物半導体は、電子移動度が高い、オフ電流が低い、透明であるなどの特徴から、これまでのアモルファスシリコンやポリシリコンに代わり、次世代フラットパネルディスプレイ (FPD) への適用が期待されている。IGZOを用いて薄膜トランジスタ (TFT) を作製する場合、TFTの信頼性向上のため、周辺絶縁膜の水素濃度を低くすることが要求されている。これまで当社では、従来方法であるSiH₄系ガスによる絶縁膜成膜に代わりSiF₄ガスを用いた手法を開発し、膜中水素濃度1at%以下（従来10at%以上）、IGZO-TFTの高い信頼性 ($\Delta V_{th} < 0.1V$) を確認した⁽¹⁾。またIGZOを用いたFPDはパネルメーカー各社から市場へ投入されることが予想され、製造装置は大型ガラス基板上への高速成膜と高い均一性が同時に要求される。当社は、大面積基板に対応可能な

IGZO向け製造装置の開発のために、新たにプラズマ発生源を開発した。このプラズマ源は、内部アンテナ方式を採用した誘導結合型プラズマであり、高いガスの分解効率を示し、アンテナサイズ・本数を変更することにより、様々な基板サイズに対応出来る。図5に、プラズマ発生効率を高めたアンテナ構造と従来のアンテナ構造による成膜速度を示す。アンテナ構造を変更することにより高い成膜速度を得られた。図6に、680mm×880mmガラス基板面内での膜質分布（屈折率）を示す。基板全領域で±3%以下の高い均一性が確認され、製造装置としての高い生産性と面内均一性が確認された。

(1) 日新電機技報 2013年4月（通巻140号）

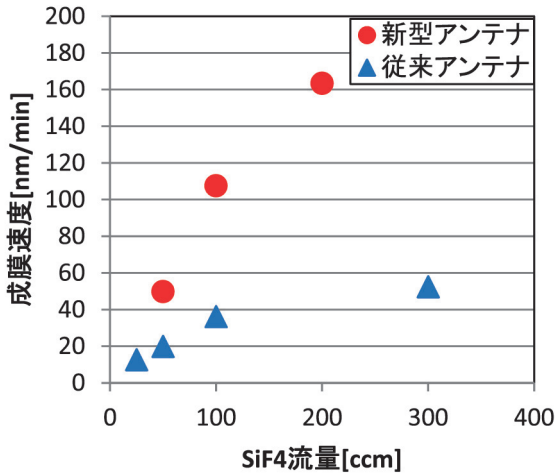


図5 成膜速度

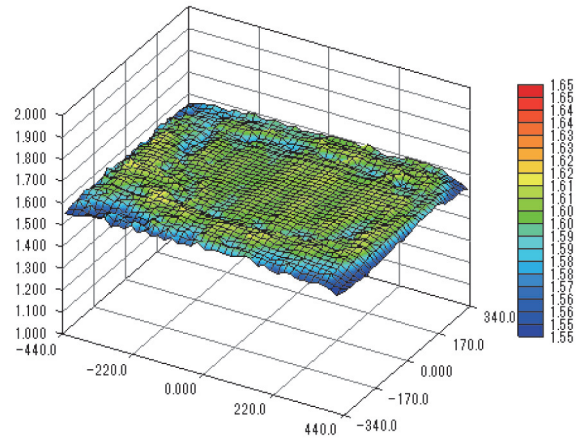


図6 膜質面内分布

1. 5 酸化半導体用途スパッタ装置の開発

近年、次世代フラットパネルディスプレイ用スイッチング素子としてIn-Ga-Zn-O₄ (IGZO) に代表される酸化半導体が注目されている。これらの半導体は、スイッチング速度が速い、オフ時の漏れ電流が小さいといった特徴があり、大面積パネルを容易かつ安価に作製することが可能であることから、モバイル機器や高精細ディスプレイなどへの適用が期待されている。一般的に酸化半導体の形成には、高速成膜のために磁石をターゲット材料裏面に配置したスパッタリング法が用いられる。しかし、磁石の領域に偏って材料が消費されるため、材料の利用効率や膜厚分布が悪いなどの問題があった。

当社では磁石を用いずに高速成膜が可能なスパッタ技術を開発している。図7に100回及び180回成膜後の6インチIGZOターゲット材料の消費結果を示す。当社プラズマ技術により、ターゲットを一様に消費できることが確認できた。その結果、当社のスパッタ装置を用いることで、ターゲット材料を有効に利用でき、TFTを安価に製作することが期待される。図8は本技術を用いて作製したTFTの伝達特性を示す。図8から、正常にTFT動作することを確認できた。今後は、より量産に近い、大面積ガラス基板に対応したサイズでの開発を推進し、実用化を目指す。

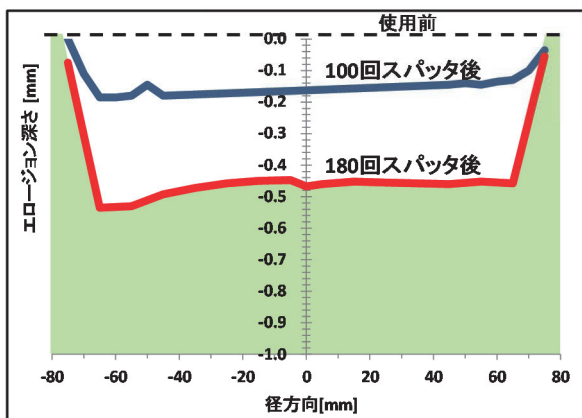


図7 IGZOターゲット表面の断面形状

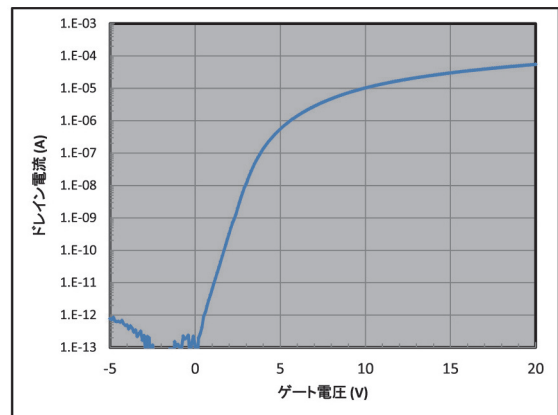


図8 IGZO TFT 伝達特性

1. 6 プラズマ解析技術の開発

近年のコンピュータの性能向上に伴い、CAE (Computer Aided Engineering) 技術も急速に発展し、構造解析・電磁界解析・熱流体解析等の汎用的な各種シミュレーションをはじめ、2つ以上の物理・化学現象を同時に扱う連成解析も実用的に行える状況になっている。当社でも、製品開発の初期段階からCAE技術を活用して、試作・検証回数の削減、測定困難な現象の解明、製品の高性能化、および品質・信頼性の向上を図っている。

ここでは、半導体の成膜プロセスに活用中の誘導結合型プラズマを対象にしたプラズマ解析技術について紹介する。誘導結合型プラズマは、例えばコイル状のアンテナに高周波電流を流すことで、アンテナ周りの高周波電磁場により電子を加速し、分子・原子と衝突

させることにより生成・維持される (図9参照)。当社では、電磁場・流体・プラズマ化学反応を連成させた3次元プラズマ解析を実施し、装置開発に活用している。図10に、プラズマCVD (Chemical Vapor Deposition) 装置を対象とした解析事例を示す。解析結果から、チャンバ中央付近で電子密度が高くなっている様子が確認できる。このように、試作・実験前に解析を実施することにより、電子密度等の主要な成膜パラメータの分布が把握でき、効率的な装置開発を行えるようになった。

今後も引き続き、CAE技術を開発・活用することで、製品の高性能化・開発のスピードアップに取り組んでいく。

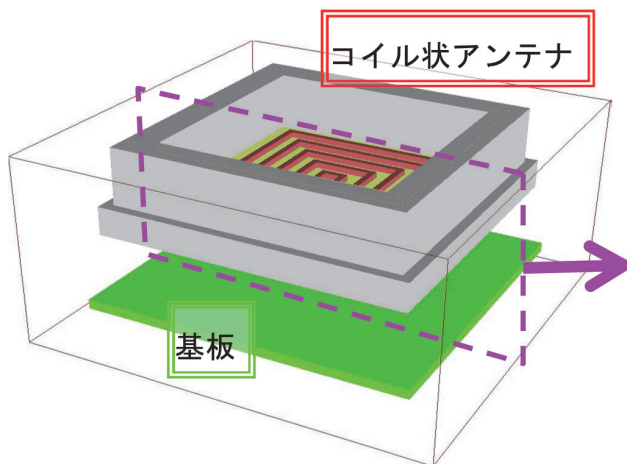


図9 解析モデル

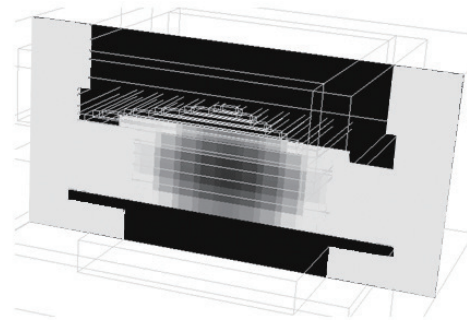


図10 解析結果 (電子密度分)

1. 7 カーボンナノウォール (CNW) の応用製品開発

グラフェンシートが複数積層して二次元的に垂直配向しているCNWは、炭素の同素体としてグラファイトの特性と共に、その層数制御により、高い電気伝導率などのグラフェンの特性が期待出来る。当社ではプラズマ化学気相成長法 (プラズマCVD) によるCNW合成技術開発に取り組んでおり、現在、合成プロセスによる特性改良と応用製品の探索を行っている。

当社CNW合成技術は、触媒を必要とせず、複雑形状および大面積へ合成が可能であり、ランダムおよび二次元的なCNWの配列合成、金属および半導体特性を有するCNWの合成が行える。応用製品として放熱材料、各種デバイス (センサ、高周波フィルタ、FET素子) などへの展開を目指している。

今年度は、シート型放熱材への適用に向けたCNW配列体の薄膜シート化、高周波フィルタなどへ向けた

0.3 μm ピッチでの微細配列合成 (図11参照)、センサ機能確認としてpHに対するセンシング機能が確認できた。今後は適用ターゲットに向けた特性確認を実施する予定である。

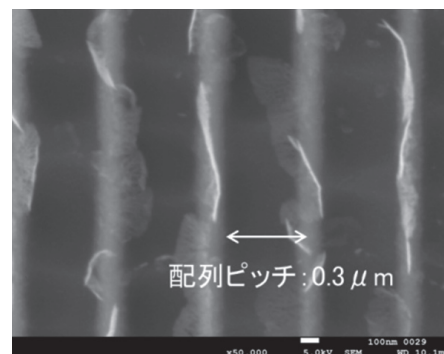


図11 0.3 μm ピッチでの微細配列合成

1. 8 物性評価・解析技術の充実（更新設備とその機能について）

新製品・新事業開発の加速、製品不具合発生時等の問題解決を迅速に行うため、分析評価技術は強力な武器となる。物性評価センターは、この分析評価技術の調査・探索、導入および開発を行い、全社からの幅広い分析ニーズに応えるため、体制整備を図っている。2013年は、X線回折装置（XRD）およびX線光電子分光分析装置（XPS）を更新し、運用開始した。XRDは材料の結晶情報から、化合物の特定や結晶性を評価でき、XPSは数nmという極表面の組成やその結合状態を評価できる装置である。両装置共に、従来は実施できなかった微小領域（100 μ m）の分析ができるよう機能充実を図った。図12はXRD装置外観、図13はXRDにより微小部を結晶性評価した事例、図14はXPS装置外観、図15はXPSによりパターニング基板の微小部を元素マッピング評価した事例である。図13より、0.5mm ϕ の領域の結晶性が把握できること、図15より、3 μ m長の精度で元素分布を検出できることが分かる。

今後、更に有機系材料の分析評価技術の開発・導入の検討を行い、更なる分析ニーズへの対応強化を図る。

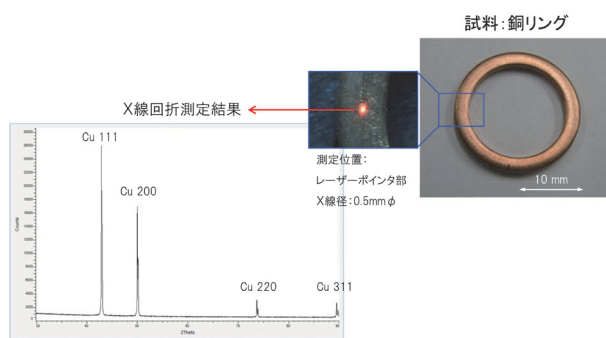


図13 XRDを用いた微小部分析例



図14 X線光電子分光分析装置（XPS）



図12 X線回折装置（XRD）

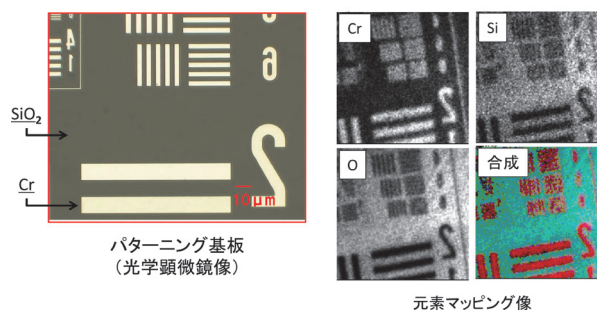


図15 XPSを用いた微小部元素マッピング分析例