

訪問日 2016年6月20日

九州大学大学院 システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門 徐 鉉雄 助教

研究題名：プラズマエーシングプロセスの適用による高効率・高信頼性ペロブスカイト太陽電池の開発

九州大学・徐 鉉雄（ソウ ヒョンウン）先生を訪ねて

先生の研究は、ペロブスカイト太陽電池（PSC）のホール輸送層にプラズマエーシングプロセスを導入して更により太陽電池を作ろうというものです。現在、空気中で24時間エーシングして太陽電池を作っていますが、性能の安定性、耐久性に課題があります。研究は大気圧プラズマをこのエーシングに使い、その時間を短縮し、信頼性が高く、実用的なPSCを実現することが目的です。ちなみに対象としているホール輸送層の材料は、最も一般的なspiro-OMeTAD（2,2',7,7'-tetrakis-(N,N-di-p-methoxyphenylamine)9,9'-spirobifluorene）です。当日は先生が所属している白谷研究室の研究内容、先生が関わっている研究、そして矢崎財団からの助成研究であることを明記したポスターなどを使い、PSCの取り組み状況を詳細に説明いただきました。

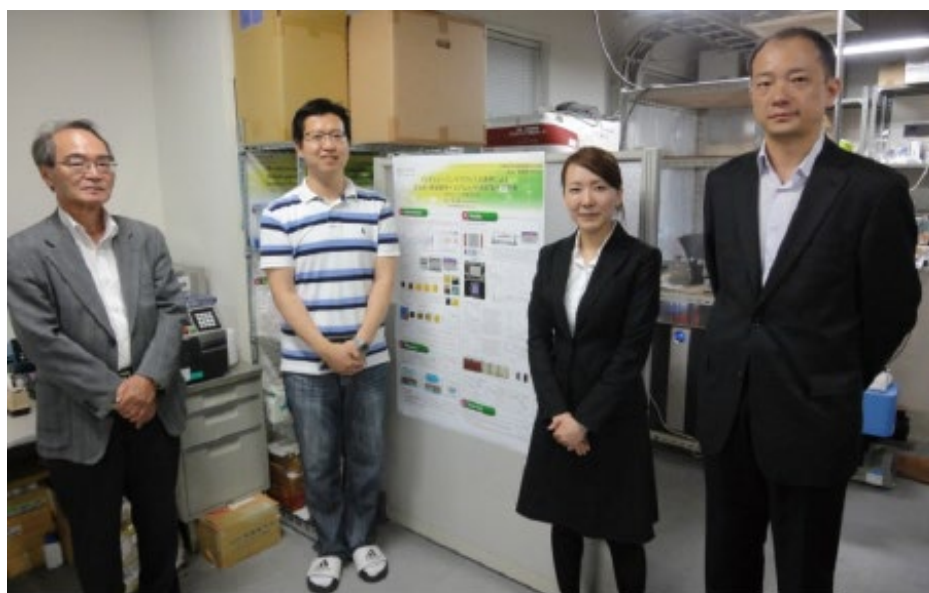
研究室では、革新的なプラズマプロセスを掲げ、プラズマの基礎から応用研究まで手掛けています。まず、先生も携わっている超高効率を目指した量子ドット太陽電池（QDSC）です。シランガスをプラズマ処理してSiナノ粒子を作製しますが、実験条件により粒子サイズを変えたり、結晶性を変えたりできますので、用途によって最適な条件を見出しています。余り研究例がないGe量子ドットも手掛けています。またα-Si太陽電池では、劣化率として世界最小の2.5%を実現しています。また、プラズマの基礎研究としてラジカル種の同定などの核融合の研究や、プラズマガスを使ったエッチングプロセスの研究も実施しています。大気圧プラズマを利用したバイオ応用の研究で、プラズマを種子などに当てることで成長を促す成果があります。実際に種子へのプラズマ照射の有無による葉の成長の違いを見せてくれました。医学部との共同研究で遺伝子への影響も調べています。

先生は韓国の釜山大学で色素増感太陽電池（DSC）で博士学位を取得後、九大に移られ、Siナノ粒子とその量子効果、太陽電池への応用、現在は多種の太陽電池を研究しています。実用化研究では、電界を掛けて迅速に色素を吸着させる方法により、吸着時間を12hrから4hrに短縮したり、最近の成果では、対向電極である白金の代替としてポリマー電極を提案、白金を上回る効率と大幅なコスト減を実現したり、レーザーを使ったモジュール構造の変更、更には前述の世界初のSi QDSCを作製、発電を確認しております。先生の最終目標は実際に使える太陽電池を作ろうというものです。生産設備などを考えると、現在のSiを代替するのは難しく、Si太陽電池が使えない用途、建材一体型、建物のガラスの代替などが最終の目標です。材料の開発、プロセスの開発、新しい構造や新概念のデバイスの開発を通じて革新的リアル太陽電池を実現したいとのこと。次に詳細は省きますが、太陽電池の研究の流れを説明いただきました。第一世代がSiウエハーベースの太陽電池、第二世代は低コスト化を目標とした薄膜太陽電池、第三世代は超低コスト・超高効率の太陽電池で、先生の研究は第二世代と第三世代の間として、DSC、QDSC、PSCを研究しているとのこと。QDSCは一つの量子ドットにフォトンが入射して2つ以上の電子が生成される多励起子生成効果を利用しますが、この理論効率は44%で、通常のDSCのそれは31%程度です。QDSCはSi太陽電池を効率で上回る可能性があります。Siナノ粒子は真空プロセスで得られますが、太陽電池にするときは溶液ベースのSiナノ粒子を使いますので大面積化に対応できます。Siナノ粒子は、対向する沢山の穴を開けた電極面の間でプラズマを発生させるマルチホロー放電プラズマCVD法で作製します。この穴にシランガスを流し、穴の中でSiナノ粒子ができ、圧力によって穴の中に滞留する時間が異なりますので、圧力を制御すること

で、目標とする綺麗にそろった粒径のナノ粒子を得ることができます。

PSCの構造は、透明導電膜（現在FTOを使用）が塗布されているガラス基板の上に、数十nmの緻密なTiO₂層を載せ、その上にナノ多孔質のTiO₂層を作り、そこにペロブスカイト物質を吸着させ、その上にホール輸送層、金属電極を載せます。ペロブスカイト物質から電子とホールが分離し、ホールは輸送層、金属電極に流れ、電子はFTOに流れます。ペロブスカイト層とホール輸送層は大気中の水分で変化、ペロブスカイト層は黒色から原料のヨウ化鉛の色の黄色に変化し、効率低下の原因になります。そのため従来乾燥空気中で作製しています。また、ホール輸送層は空気と反応しますが、空気中の何が影響しているのかわかっていません。この研究ではそれを明らかにし、空気の代わりに大気圧プラズマを使い、例えば酸素が影響しているのならプラズマで活性化した酸素を作れば反応を促進できます。この大気圧プラズマを作るには、絶縁体で被覆した径1mmの棒を20本並べた電極の下に試料を置き、各棒電極間に高電圧を掛けて放電しプラズマを発生させます。電極と試料の間の距離によってプラズマ温度も、生じる元素も異なります。プラズマ処理の目的はエージング時間の短縮と封止の不要な耐水性の高い長期信頼性のある膜を作ることです。成果の一例として、プラズマ処理により製膜直後より5hr後のホール移動度が高くなったとのこと。今後、プラズマ源との距離によってできるホール輸送層の違い、プラズマ処理の最適条件などを追及するようです。実際にプラズマの特性をプラズマ源との距離などをパラメータとして、発生する主なガス種であるO₃、NO、NO₂の各濃度を分光分析法で測定した結果を説明いただきました。距離が大きくなればO₃、NO濃度は減少しますが、NO₂の場合は距離が7mm位で最大濃度になります。ここから各プラズマによるガス種の特性への影響が簡単に分かります。また、プラズマ発生による温度は、距離が5mm程度以上なら一定温度になります。電極と試料の位置関係が重要であることが分かります。ホール輸送層だけでなく全体のプロセスの最適化を目指しています。

プラズマ技術を使って、高効率で、塗るだけで容易にできる高信頼性の太陽電池の出現が切望される訪問でした。（2016年6月20日訪問、技術参与・飯塚）



左から2人目が徐先生

超高効率太陽電池

超高効率太陽電池
高効率: 18-120%
高電圧: 100V

高品質 a-Si 太陽電池

高品質 a-Si 太陽電池
高効率: 18-20%
高電圧: 100V

革新的なプラズマプロセス

核融合

small dust particle aggregation large dust particle

バイオ応用

実験方法
1. 水に溶したバイオフィルの種中に高圧Heプラズマを照射。
2. Heプラズマ照射後、成長観察。

プラズマエッチングプロセス

細胞増殖
床ずれの治癒
滅菌

徐先生が所属する白谷研究室の紹介

ペロブスカイト太陽電池

ホール h^+
電子 e^-

大気での不安定性

0 h

24 h

48 h

72 h

96 h

従来のエージング

空気
 $N_2, O_2, Ar, CO_2, \dots$

7日エージング
①低い反応活性度
②ランダムな反応

本研究のエージング

プラズマ
 $Ar, N_2, He, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6, H_2, H_2O, OH, \dots$

エージングの向上
①反応活性化
②選択的な反応

プラズマエージングプロセス

60mm
43.8mm
プラズマ
ペロブスカイト太陽電池

徐先生の研究内容