

## 大分類・中分類S12・プラズマエレクトロニクス分科会シンポジウム 「エネルギー材料開発に資するプラズマ技術最前線」の報告

布村正太（産業技術総合研究所）、神原淳（東京大学）

プラズマプロセスは、太陽電池、パワーデバイス、水素燃料生成等のエネルギー関連材料分野で広く利用されている。これらエネルギー関連材料は、今後、益々需要が高まると期待されており、その高性能化・高信頼性化・低コスト化が世界各地で進められている。本シンポジウムでは、プラズマプロセスが関与するエネルギー関連材料に焦点を絞り、プロセスと材料・デバイス特性の関連を明らかにし、プロセス面における課題の抽出と材料・デバイス開発における今後の展望について横断的に議論することを目的に企画された。

最初に、企画担当から本シンポジウムの開催趣旨について簡単に紹介された後、**寺嶋和夫氏（東大院新領域）**に「はじめに」の題目で講演いただいた。“物質”、“情報”と並び、工学における3大要素の一つである“エネルギー”におけるプラズマプロセス技術のこれまでの貢献と今後の更なる応用展開への期待が述べられた。さらに、本シンポジウムにおける各講演のハイライトが紹介され、プラズマプロセスの具体的な役割と重要性が説明された。続いて**金子哲也氏（東海大工）**に「**Si 太陽電池パッシベーションにおけるプラズマ成膜技術**」の題目で講演いただいた。太陽電池の製造工程では、光電変換層や透明電極、パッシベーション層の形成など、多種多様な薄膜材料の形成に様々なプラズマ成膜技術が用いられていることが紹介された。中でも、ヘテロ接合型太陽電池に用いられるパッシベーション層（水素化アモルファスシリコン極薄膜）は、太陽電池性能を大きく左右する部分であり、その形成にプラズマCVD技術が用いられ、本成膜工程におけるダメージ低減が更なる電池性能の向上に必須であることが述べられた。続いて**原田信介氏（産総研）**に「**SiC パワーデバイスにおけるプラズマプロセス**」の題目で講演いただいた。高効率かつ信頼性の高い次世代パワーデバイスの作製に向け、プラズマ技術の幾つかの検討例が紹介された。例えば、Super-Junction (SJ) 構造の形成に必需な深掘りかつ垂直なプラズマエッチング技術やSiCウエハの切断に求められる放電加工技術が紹介された。また、ゲート酸化膜用にALD法で製膜したAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の界面準位の低減に水素+窒素プラズマ処理が有効に作用することなどが紹介された。続いて**小田修氏（名大工）**に「**窒化物系結晶成長におけるプラズマ応用**」の題目で講演いただいた。窒化物半導体の結晶成長に用いるプラズマ技術の応用例として、分子線エピタキシー (MBE) 用の高密度ラジカルソース (HDRS) とラジカル支援 MOCVD (REMOCVD) 法について紹介された。HDRSを用いることで、窒素ラジカル密度を従来に比べ約一桁向上させることが可能であり、窒化物半導体を2.0 μ/h 以上の高速レートで成長可能であることが紹介された。また、ラジカル支援 MOCVDでは、高コストのアンモニアガスを全く使用することなく窒化物の結晶成長が可能であり、低温でGaN、AlN、InN、AlInN等の窒化物半導体が形成可能であることも紹介された。続いて**田中学氏（九大工）**に「**Li イオン電池関連の熱プラズマ技術**」の題目で講演いただいた。様々な熱プラズマの発生方法やその特徴などが説明されたのち、正極材料に用いられるLi-Me (Mn, Fe, Cr, Co, Ni) 系複合酸化物の合成や、負極活物質であるアモルファス Si ナノ粒子等の作製例などが紹介された。また、熱プラズマ反応場の熱力学的な取り扱いやナノ材料創製の生成機構に関する詳細な考察が述べられた。さらに、作製したナノ粒子を用いたLiイオン電池の特性結果も紹介された。

15分の休憩を挟み、加藤久雄氏（トヨタ自動車株式会社）に「次世代燃料電池車に向けた新規カソード触媒の研究開発と解析ニーズ」の題目で講演いただいた。燃料電池車の普及には、燃料電池のコスト低減が必須であり、そのためには高効率に酸素還元反応を行う新規カソード触媒の開発が必要であることが述べられた。新規カソード触媒の例として、担持体表面の白金原子間距離を制御する特殊なナノ構造や白金表面の修飾化技術が紹介された。また、解析技術として、「白金ナノ粒子等構造体の表面白金原子間距離やラフネス等を評価する技術」や、「白金と電解質界面の酸素還元反応に関連する、酸素、プロトン、水の物質移動のその場観察と、移動度の定量測定を可能とする技術」が求められていることが述べられた。続いて上坂裕之氏（岐阜大工機械）に「低摩擦・高耐摩耗 DLC 膜のプラズマ成膜技術」の題目で講演いただいた。省エネルギーの観点から、自動車や様々な機械部品の摩擦低減が求められており、低摩擦・耐摩耗材料であるDLC(Diamond-Like Carbon)コーティング膜の利用が広がりつつあることが紹介された。研究成果の一例として、マイクロ波重畳DC放電による超高速DLC成膜技術（100  $\mu\text{m/h}$  以上、従来比100倍以上）が紹介され、小ロット・フロー生産への見通しが可能になったことが述べられた。また、プラズマ支援潤滑技術についても紹介され、材料表面へのプラズマ照射により摩擦抵抗が大幅に低減することが述べられた。続いて野崎智洋氏（東工大）に「プラズマ触媒化学に基づく水素・炭素系燃料の創製」の題目で講演いただいた。触媒化学分野で重要な反応の1つである安定分子（ $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ ）の低温かつ高速転換に関する研究例が紹介された。具体的には、誘電体バリア放電と改質触媒をハイブリッドさせた反応場を用い  $\text{CH}_4$  と  $\text{CO}_2$  を改質し、高効率で合成ガス（ $\text{CO}$  と  $\text{H}_2$ ）を得ることができると紹介された。また、発光分光分析や触媒ペレットに析出した炭素質の分布と析出量との関係から、反応促進効果および反応機構についても考察がなされた。最後に前原常弘氏（愛媛大院理工）に「液中プラズマを用いた水素生成」の題目で講演いただいた。液中プラズマの発生法とその特徴が紹介されたのち、グルコースやセルロース懸濁液から液中プラズマ技術を用いて水素等の有用物質の生成が可能であることが述べられた。セルロース懸濁液に電解液（例えば、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ）を加えること生成効率を大幅に改善できることなどの詳細な実験結果も報告された。

本シンポジウムは200名程度の参加者があり（会場のキャパシティと空席率で推定）、本トピックに対する興味の高さが伺われた。それぞれの講演では、プラズマプロセスと材料開発・デバイス作製の観点から、横断的且つ専門的な議論が多くなされた。また、参加者と講演者との間で活発な意見交換もなされ、たいへん有意義なシンポジウムであった。