

2015 年秋季講演会シンポジウム報告 液体シリコンの科学と最新動向

本シンポジウムは、大分類 16「非晶質・微結晶」の分科企画シンポジウムとして、9月13日に開催された。液状材料の塗布、印刷によりシリコン系薄膜などを得られる“液体シリコン”は、高価かつ巨大な真空装置を用いる必要が無く、所望の箇所のみへの膜の選択形成、パターニングが可能であり、また材料の利用効率を極限まで向上できることなどから、電子デバイスや太陽電池などの作製プロセスへの応用が検討されている。本シンポジウムは、液体シリコンの基礎科学に加え、最新の動向についても議論することで、非晶質材料や半導体プロセスなどに携わる多数の参加者が本分野に興味を持ち、基礎科学、応用の両面での発展の契機となるよう企画した。招待講演 7 件、一般講演 2 件の構成で行われた。

冒頭に、北陸先端大・下田（敬称略、以下同様）より、これまでの液体シリコンの研究開発の歴史、および最近の状況に関する招待講演があった。シリコンインクを塗布するための濡れ性の制御の重要性、およびそのための指針とメカニズムについて詳細な解説がなされた。また、シリコンインクの原料であり環状構造のシクロペンタシラン(CPS)を直接気化し、熱 CVD により非晶質シリコン(a-Si)を得る liquid-source vapor deposition (LVD)法についても紹介された。

群馬大・久新からは、有機シリコン化合物の合成に関する招待講演が行われた。合成が難しく先行研究が少ない、シリコン原子が数 10 個から数 100 個程度の有機シリコンクラスターについて精力的に研究を行っている。光吸収スペクトルと理論計算を組み合わせることで得られるクラスター構造の情報から、これらのクラスターには一般的なシリコンの結合構造である正四面体からかなりずれた構造も多く含まれることを見出した成果などが紹介された。

パナソニック・村山からは、液体シリコンの塗布・焼成により形成した a-Si 膜の、薄膜シリコン太陽電池応用に関する招待講演が行われた。形成した a-Si 膜は、汎用のプラズマ CVD 形成した膜と比べ膜密度が低いものの、光照射に対する高い安定性を示唆する結果が示された。また、膜厚方向に膜密度の分布があり、特に表面付近に低密度層が存在することを、陽電子消滅法により明らかにした。さらに、光吸収層に液体シリコン a-Si 膜とプラズマ CVD a-Si 膜を積層させた構造を用いることで、変換効率 3.1%の a-Si 太陽電池が得られることを実証した。

帝人・池田からは、結晶シリコンナノ粒子を含有したペースト剤のデバイス応用に関する招待講演が行われた。シランガスを原料として使い、laser pyrolysis 法により直径 20 nm 程度のナノ粒子が得られる。原料ガスにジボランやホスフィンを混合することで、p 型および n 型のナノ粒子の形成も可能であり、これらを有機溶媒と混合することでペースト剤として利用できる。レーザーを用いた焼成を行うことで、領域選択的にドーピング層を形成でき、

結晶シリコン太陽電池の selective emitter 形成への活用などが期待される。

Helmholtz-Zentrum Berlin の Mews からは、塗布・焼成により形成した a-Si 膜の結晶シリコン表面のパッシベーションに関する報告がなされた。CPS と異なりテトラヘドラル構造をもつネオペンタシランから作製したシリコンインクを用いて結晶 Si 上に a-Si を形成し、パッシベーション能力を評価した。事後の水素処理と組み合わせ、少数キャリア寿命 1.37 ms を実現できる条件があることを見出した。現在、50 nm 以上の厚さの a-Si 膜を用いており、実デバイス応用のためには薄膜化が課題である。また、大気曝露に対する耐久性の向上も求められる。

北陸先端大・過からは、CPS からの LVD 法により形成した結晶 Si 上への a-Si パッシベーション膜の耐久性に関する報告がなされた。LVD a-Si 膜が汎用のプラズマ CVD で堆積した膜と比べて高い耐熱性をもち、また、大気曝露や光照射に対する高い耐久性があることも示された。東京高専・萩原からは、液体プロセスにより形成した SiO₂ 膜による結晶 Si 表面のパッシベーションに関する一般講演がなされた。炭素を含まない perhydropolisilazane (PHPS) と大気中の水との反応により SiO₂ 膜の形成が可能であり、事後の水蒸気アニールにより特性の改善を図っている。実効キャリア寿命として 2 ms を超える高い値を得ており、また、80 日以上の大気曝露においても安定であることも示された。

デルフト工科大・石原からは、液体シリコンを用いた紙の上への poly-Si 膜形成とそのトランジスタ応用に関する招待講演が行われた。シリコンインクへのレーザー照射により poly-Si 形成を行っていた過去の研究を発展させ、CPS に直接レーザー照射を行う方式により紙面上への poly-Si 形成を実現させた。紙は安価であるだけでなく、有機基板と比べて長期耐久性にも優れていることもあり、今後の発展が期待される。

豊田中研・矢野からは、リチウムイオン電池への応用を目的とした液体シリコンの利用に関する招待講演がなされた。メソポーラスシリカを鋳型としてポーラス状のカーボン多孔体を形成し、そこに CPS を浸透させて 400 °C で加熱すると、表面積の大きな a-Si を実現できる。これをリチウムイオン電池の負極として用いることで、初期値として理論値に近い 3200 mAh/g の容量を達成している。

本シンポジウムには、100 名前後の聴講者があり、活発な討論により、各聴講者に多くの発見があったと思われる。研究開発の加速には新たなコミュニティの形成が有効であると考えられ、今後、研究会など定期的に交流を行う場の設立が望まれる。

(北陸先端科学技術大学院大学・大平圭介)