

16. 非晶質・微結晶

岐阜大学大学院工学研究科 吉田 憲充

「16.1 基礎物性・評価」では、カルコゲナイド系材料、酸化物ガラスおよび結晶化ガラスなどに関する発表が行われた。Ge-Sb-Te系材料の抵抗スイッチ現象(上智大)、GeTe/Sb₂Te₃超格子の抵抗スイッチにおける熱的安定性に関する発表(LEAP)がなされた。Te系抵抗変化型メモリの実用化が期待される。また、As₂Se₃(岐阜大)およびAg/Ge-S(CROSS)の光誘起現象に関する報告がなされた。一方、絶縁性非晶物質の最小Urbachエネルギーが物質によらず50 meVであることと、この普遍性は密度揺らぎに起因するという仮説が提唱された(北大)。また、非晶質InGaZnO₄の低エネルギー領域における光吸収と不純物濃度及びエネルギー構造との関係について議論がなされた(群馬大)。

さらに、ソーダガラス中の鉄イオンの局所構造に関する発表があり(Spring-8)、EXAFSおよびXANESスペクトルのX線照射時間依存性があることが示された。続いて、薄板強化ガラスの超音波マイクロスペクトロスコーピーによる強化ガラスの表面応力層評価に関する発表があり(東北大)、音速の変化がイオン交換に伴って密度上昇と弾性定数の増加に起因していることを示し、非破壊評価に有用であると結論づけた。また、金属マグネシウムとアルカリボロシリケートガラスの反応に関する発表があり(東北大)、不活性雰囲気中で熱処理することでガラス表面にMg₂Siが形成し、電気伝導を示すことを報告した。

最後に、酸化物ガラスの相変化(結晶化)および構造変化を利用した機能性材料に関する研究成果が報告された。特に、構造解析で得た成果を基にして、アモルファス(ガラス)材料の応用を探る試みが数多く報告され(長岡技科大、東北大、物材機構)、構造制御に基づいた機能化が重要であることを改めて認識した次第である。また、従来報告されている非晶質材料を研究対象とし、その物性評価を違った角度より、あるいは最新の分析手法を用いて検討した発表もなされた(北大、東北大)。従来の材料における新たな発見は、今後の材料開発に役立つであろう。

「16.2 プロセス技術・デバイス」では、シリコンやゲルマニウム系の材料を中心に、新規材料や新規プロセス等に関して興味深い報告がなされた。なかでも、液体原料とレーザアニールの組み合わせや、フラッシュランプアニール(ともに北陸先端大)が、多結晶シリコン薄膜の新規形成法として注目を集めた。太陽電池応用に関して、薄膜シリコン系材料は存亡の危機に立たされているといっても過言ではないが、欧州を中心にポスト結晶化により高効率化を図る手法が再検討され、期待される成果が得られている。従来の常識に捉われない革新的材料・プロセスが本分科から創出されることを期待する。

「16.3 シリコン系太陽電池」において、結晶シリコン太陽電池に関する以下の発表がなされた。高性能トップセル材料の実現を目的に、ナノワイヤ、ナノウオール等のナノ構造を用いることによりワイドギャップ化を図る手法が精力的に研究されている（東工大、JST）。従来から検討されている量子ドット（東工大、産総研）や超格子（JST、新潟大、東工大）等も含め、次世代の高性能太陽電池実現のための中心技術として期待されている。直近の実用化に繋がるものではないが、東工大、JSTのグループを中心に、福島県に設立された再生可能エネルギーの研究拠点で系統的かつ集中的な研究がなされており、着実な進歩が見受けられる。

さらに、応用物理学会論文奨励賞受賞講演（東北大、JST）が行われ、太陽電池用結晶シリコンの高品質化に関する発表がなされた。結晶成長後の熱履歴が転位挙動に及ぼす影響（九大、明治大、神奈川県産技セ）や、微量(ppma以下)に含まれる軽元素により形成される浅い準位等について詳細な報告が行われ（東北学院大）、サイエンスの観点での進展が見られた。しかし、これらが太陽電池の性能にどのように影響を及ぼすのか、という応用の観点での検討は十分とは言えず、今後の進展が期待される。

一方、プロセスおよび評価に関し、ナノ粒子を用いたBのレーザードーピングおよびPERCセルの作製（帝人、NanoGram）、レーザードーピングによるP拡散におけるCO₂レーザのパルス周波数最適化（奈良先端大、九州大）およびP拡散後の降温時における低温での昇降温熱処理によるライフタイム向上についての報告（名大）がなされた。また、シリコン物性の太陽電池用評価では顕微PLイメージングによる結晶の粒界再結合速度の定量評価（東北大、JST、名大）、AZO膜による引張応力を使用したゲッターリング効果のメスバウア分光評価（静岡大）およびレーザーテラヘルツエミッション顕微鏡による結晶評価（大日本スクリーン製造、阪大）に関する発表が行われた。また、光学シミュレーションとしてナノインプリントテクスチャに関する報告（奈良先端大）があった。

結晶シリコン太陽電池の薄型化・高性能化に向け、裏面も含めたパッシベーションや、光マネジメントの重要性が増している。ウェットプロセス（大阪大）やミスト法（兵庫県立大）によるパッシベーションなど、大面積に適用可能な簡便なプロセスについての報告が注目を集めた。また、固定電荷による電界効果パッシベーションと化学的な効果を分離して制御可能な構造についての報告（北陸先端大）があり、今後の展開が期待される。

また、結晶系太陽電池及びモジュール評価についての講演も行われた。機械式荷重試験による太陽電池モジュールの劣化メカニズムを数値解析及び実破壊試験で比較検討され（PVTEC、エスペック、産総研）、また太陽電池内の酸性水分量を検知するpHセンサーが開発される（農工大、産総研）など、今後ますます重要となるモジュール信頼性に関する新しい技術が報告された。

シリコン系薄膜太陽電池に関する発表に関しても活発な意見交換がなされた。具体的には金属級 Si 精製に向けた B_2H_6 選択除去技術の開発 (阪大)、SiC 成膜機構の計算機シミュレーション (東北大)、a-Si₀:H 系合金の分光エリプソメトリーによる微細構造解析 (岐阜大)、a-Si:H 系欠陥密度評価法 (岐阜大、シャープ、東工大)、走査型非線形誘電率顕微鏡による pin 接合領域の可視化 (東北大)、顕微鏡による a-Si:H 系太陽電池の局所発電特性の評価 (岐阜大)、a-Si:H/c-Si 接合系太陽電池における界面 (福島大、AIST、岐阜大、豊田工大、北陸先端大)、nc-3C-SiC エミッターを有するヘテロ接合太陽電池の AR コート膜の選択による最適化 (東工大) および Cs ドープ酸化インジウム (IC₀:H) による高移動度化およびヘテロ接合素子性能への効果 (長州産業) に関する発表であった。a-Si:H 系薄膜の膜質解析・素子界面の診断法については着実な検討が進められている。中でも a-Si:H 系太陽電池の pin 接合の可視化に関する報告 (東北大) は、ドーパント分布に関する界面の可視化に有効な技術として今後の展開が期待される。また IC₀:H による $>100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高移動度化およびそれを備えたリアエミッタ構造での SHJ 素子の 23%を越える高性能化が示され、IC₀:H の高いポテンシャルが報告された。今後の高移動度化の起源についての検討が期待される (長州産業)。H26 年 4 月に結晶 Si 系太陽電池で 25%を超える世界最高効率がパナソニックからプレスリリースされているが、薄膜 Si、SHJ のより一層の高品質化のためには、c-Si 表面終端化技術、a-Si:H 系薄膜の微細構造、プロセス技術、透明電極材料の開発、素子設計等 a-Si:H 系、SHJ 素子の基盤技術に関するなお一層の基礎研究の着実な進展が期待される。

薄膜シリコン系太陽電池の光マネジメント技術に関しても、いくつかの報告がなされた。フォトリソグラフィを導入した薄膜微結晶シリコン太陽電池についての進展が報告され、ユニットセル形状の制御及び製膜プロセスの適正化によって膜厚 500nm にて 9% に迫る発電効率が示された (京大)。低屈折率裏面反射層を導入して吸収損失の低減を図り、微結晶シリコン太陽電池の特性向上を実現した (東工大)。

最後に、執筆に際しご協力を賜りました、寺門 信明 (東北大)、増田 淳 (産総研)、本間 剛 (長岡技科大)、正井 博和 (京大)、新船 幸二 (兵庫県立大)、高橋 優 (東京応化工業 (株))、白井 肇 (埼玉大)、齋 均 (産総研)、宇佐美 徳隆 (名大)、石河 泰明 (奈良先端大) の各氏に感謝致します。