

## 16. 非晶質・微結晶

大阪大学大学院基礎工学研究科 傍島 靖

「16.1 基礎物性評価」では、カルコゲナイド系、酸化物ガラス、IV 属材料などの幅広い材料に対し、基礎物性からデバイス応用に渡るさまざまな興味深い発表が行われた。

デバイス関連の発表では、カルコゲナイド系材料を用いた新規太陽電池や薄膜トランジスタ材料におけるギャップ内準位の検出・評価方法に関する報告がなされた（群馬大・日大）。非晶質 Ge-Te と Ag 電極を用いた抵抗スイッチ現象が報告された（上智大）。

また、IV 族材料ではアモルファスシリコン(a-Si:H)では変調アドミッタンス法による欠陥分析（日大）や Si 基板上の a-Ge の結晶化挙動とエピタキシャル成長（東海大）の報告があった。

材料として特に活発であったのは結晶化ガラスの分野であり、作製や機能化について多くの報告があった。例えばマルチフェロイック BiFeO<sub>3</sub> 結晶の析出の試みや、光触媒 TiO<sub>2</sub> 結晶析出では出発ガラス組成の影響や欠陥導入による光触媒作用の向上について議論がなされた（東北大）。浮遊法を用いた長残光 SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 結晶化ガラスの合成（長岡技科大）、リン酸鉄ナトリウムガラスのナトリウム電池用正極としての機能性（長岡技科大）および亜鉛ビスマスリン酸塩ガラスの真空紫外反射スペクトル（産総研）といった、現代社会に必須である光・エネルギー機能性材料の探索と評価に関する講演が行われた。その他、基本であるシリカ (SiO<sub>2</sub>) の物性物理に関する研究として、シリカ超微粒子集合体の空隙サイズの温度依存性（東大総合文化）、仮想温度の異なる SiO<sub>2</sub> ガラスにおける弾性評価および構造解析（京大化研）、SiO<sub>2</sub> 中の酸素欠陥の 7.6eV 光吸収帯の不均一広がり とピークシフト（首都大）などが発表された。

又、蛍光に関する内容として、省希土類・脱希土類を狙った新規赤色、緑色に関する発表や、フッ化物析出による高効率発光と透明性を狙う報告、原料にシリコンとリン粉末を用い、フッ酸と硝酸の蒸気による反応により作製されるケイフッ化アンモニウム材料からの橙色発光に関する発表（東京電機大・NIMS）も行われた。現状では主たる発光種や、発光のメカニズムが不明ではあるが、とても新奇な材料・現象であり聴衆の興味を引きつけていた。

その他、ATR 法による光触媒材料の紫外分光スペクトルの測定（関学大）や、排熱の熱電変換に関する微結晶材料に関する発表（東北大）が行われた。

また、「16.3 シリコン系太陽電池」では、本会も結晶シリコン、結晶シリコンヘテロ接合太陽電池、薄膜シリコン系太陽電池の各分野で発表が行われた。まず光マネジメント分野の発表として、結晶シリコン太陽電池に異なる周期の表面形状をもつ変調テクスチャを付与する効果についての理論的検討（京大他）や、SiO<sub>2</sub> 粉末を用いてサブミクロンオーダーのテクスチャを形成する技術（名大他）について発表があった。薄膜シリコン系では、液体ガラスを用いて塗布形成

できるポーラス  $\text{SiO}_x$  層が屈折率調整層として働くことが報告された (岐阜大)。光吸収層の薄膜化・薄型化に伴って広範囲な波長の光を閉じ込めるマルチスケールテクスチャが必要とされており、今後もこのような研究が盛んになると思われる。このほか透明導電膜に関して、スパッタによる  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  (ITO) 膜に対して MOCVD 法による  $\text{ZnO}:\text{B}$  (BZO) 膜はプラズマダメージがないため  $V_{oc}$  や FF が向上し、微結晶シリコン太陽電池の安定化世界最高効率 11.77% に結びついたことが示された (産総研)。

また、結晶シリコン材料の転位挙動に関しては、粒界を介した転位発生について興味深い結果が報告されており、今後メカニズム解明への進展が期待される。反射防止技術に関しては、シリコンナノクリスタル層形成による極低反射化 (阪大) について講演が行われた。単結晶、多結晶共に低反射率を実現しており、試作太陽電池による性能向上も確認された。実用化へ向け、シリコンナノクリスタル層における吸収や再結合についての評価の進展が望まれる。さらにモジュール信頼性に関する新しい評価技術や結果も報告され、機械式荷重試験によるインターコネクタの破断劣化ふるい分けの有効性が示された (PVTEC、エスペック、産総研)。また、レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡に関する他の方法との比較、実証機開発の発表がなされた (SCREEN ホールディングス、阪大レーザー研)。結晶シリコン太陽電池の PID について従来の Na 起因による劣化発現説を覆す結果を示し、今後のメカニズム解明が期待される (産総研)。モジュール評価に関連して他に新たな加速試験として湿熱との複合による UV 照射の加速効果が提案され (PVTEC、産総研)、屋外での太陽電池特性評価の日射変動を高速スイープ測定することで中照度程度でも測定可能となる (産総研)、太陽電池モジュールの劣化に大きく影響する EVA から発生する酢酸量をナノ構造 pH センサーにより精度よく計測する方法 (東京農工大、産総研) 等が報告された。

結晶シリコンヘテロ接合太陽電池の研究としては、パッシベーションについての発表が多く見られ、 $a\text{-Si}:\text{H}$  パッシベーション層のプリカーサーとして液体シリコンを用いる場合、性能の維持には脱水素処理に比較的高いアニール温度 ( $>300\text{-}400\text{ }^\circ\text{C}$ ) が必要であり (北陸先端大他)、 $a\text{-Si}:\text{H}$  の優れたパッシベーション機能に起因して高い変換効率が得られているが、そのメカニズムについては不明な点が多く、今後もこの分野の研究が盛んになると思われる。他に  $\text{AlO}_x$  を用いた結晶シリコンの電界効果パッシベーションに関する報告があり、製膜の高スループット化が期待されるミスト CVD 法 (京大他) や新しいプリカーサーを用いた  $\text{AlO}_x$  薄膜形成技術 (日本アルキルアルミ他) について講演が行われた。又、Cat-CVD を用いた膜中水素を多く含む  $\text{SiN}_x:\text{H}$  や  $a\text{-Si}:\text{H}$  を低温製膜後、より高温でのアニール処理を施すことで良好な表面再結合速度 ( $<5\text{ cm/s}$ ) とライフタイム値 (1-10 msec) を示す事が報告された (北陸先端大)。このほか、Cat-CVD を用いた結晶シリコン表面付近に P をドーピングする技術についても報告があり、電界効果による表面再結合速度の低減効果が得られている。更にこれらのプロセス技術を用いた試作太陽電池デバイス

は、比較的高い開放電圧 (>700 mV) を示すことが報告された。また、陽電子消滅スペクトル測定で解析したアモルファスシリコン内のボイドサイズはアモルファスシリコンの膜厚と関連があり、その傾向は結晶シリコンの寿命と相関を示す事(岐阜大他)や、ケルビンプローブ顕微鏡を用いた Si ヘテロ接合の仕事関数測定(豊田工大)から得られたバンドオフセットは、これまでの報告とは異なっており、今後更なる詳細な検討が望まれる。バックコンタクト太陽電池のシミュレーションについて報告した(福島大)。有機材料である PEDOT:PSS を用いた Si ヘテロ接合太陽電池の効率向上が報告された(埼玉大)。今後は安定性向上が課題となると予想される。また、室温で  $145\text{cm}^2/\text{Vs}$  に及ぶ高い移動度を持つ Ce ドープ酸化インジウム(ICO:H)膜中の Ce の価電子状態が X 線吸収微細構造(XANES)法によって調べられ、水素添加により 3 価状態が増える一方で、残留歪や結晶粒界散乱が抑制されて移動度が向上したことが考察された(長州産業)。

薄膜シリコン系ではまず a-Si:H 太陽電池の高性能化に向け、幅広い製膜速度領域での太陽電池の作製と、その光劣化特性について詳細な調査結果が報告された(産総研)。他にはプラズマ CVD における製膜機構と膜構造、デバイス中の欠陥に関する報告が数件あり、a-SiC:H の製膜機構を  $\text{SiH}_3$  と  $\text{CH}_3$  のラジカル種を元に分子動力学法に基づいたシミュレータによる、Si-C 結合の形成される過程の再現を試みた(東北大院工)。またドーピングされた a-Si:H の過剰キャリアの電子・ホールが製膜へ影響し、欠陥を生成するモデルを提唱が報告された(阪大院基礎工、JST-CREST)。ドーピング膜中や nip 型太陽電池の i 層中の欠陥生成について説明され、定量的な考察が今後期待される。シリコンナノワイヤー太陽電池の研究開発を実施しているプロジェクトからは、光学シミュレーションや、ナノウォールも含めた実際の太陽電池の作製で複数の発表(JST、福島拠点)があり、今後の展開が期待される。

最後に執筆に際しご協力を賜りました、寺門 信明先生(東北大)、早川 知克先生(名工大)、本間 剛先生(長岡技科大)、高橋 儀宏先生(東北大)、松井 卓矢様(産総研)、宮島 晋介先生(東工大)、新船 幸二先生(兵庫県立大)、野毛 宏先生(福島大)、高濱 豪様(パナソニック)、宇佐見 徳隆先生(名古屋大)、白澤 勝彦様(産総研)に感謝致します。