

## 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・プロセス・デバイスでは、カルコゲナイド系、酸化物ガラス、IV族材料など幅広い材料についての報告が行われた。

非晶質半導体であるカルコゲナイド材料の特徴を活かした研究成果が報告された。カルコゲナイドへの銀の光拡散 (CROSS)、相変化材料による電気メモリー (東北大、AIST) や周波数通倍器 (上智大) の動作などが興味深かった。動作原理の理解、性能向上とともに新しい応用の研究が進んでいる。

また、酸化亜鉛微粒子からのレーザー発振の機構解明および窒化ホウ素の紫外発光に関する発表があった。パルスレーザー体積法により精密に製膜した ZnO からの発光スペクトルの膜厚依存性から発光機構の変化について、発表者らの従来の結果と比較を行った(神戸大学)。六方晶窒化ホウ素(h-BN)はワイドギャップ半導体で、強い励起子発光を示すことから深紫外領域における発光デバイスとしての注目が高まっている。報告が少ない 3.5 eV 以下の発光バンドの発光過程に関する発表 (神戸大) であった。ゾルゲルホウにより作製した Tb<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup>共添加 ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 結晶化ガラス中の発光に関する発表(名古屋工業大学)があった。Tb<sup>3+</sup>から Yb<sup>3+</sup>へのエネルギー移動の効率は最大で 79%と高い赤外発光を示すことを明らかにした。

電池正極活物質として、酸化物ガラスを熱処理して得られる結晶化ガラスが実用化に際して十分な特性および大きな可能性を有していることが報告された (長岡技科大)。また、特異的なフラクタル構造を示す化合物に関する報告 (群馬大、住友金属鉱山) がなされた。ガラス中の OH、Cl といった微量成分に関する報告 (福井大、首都大東京) がなされ、これらの不純物が材料としての鍵因子であることを感じさせた。また、Bi 含有ガラスの光学特性が報告 (愛媛大) され、微量成分の価数と局所構造に関して、活発な意見交換がなされた。

16.3 シリコン系太陽電池では、モジュールの信頼性向上に向けた研究や、低コスト・高品質ウエハーなどの材料作製、ヘテロ接合太陽電池、新規構造など多岐に渡る報告が行われた。

シリコンヘテロ接合太陽電池について、バックコンタクト型のプロセス簡略化を目的にした形成技術の複数の講演があった。イオン注入により p 型 a-Si:H を n 型 a-Si:H に反転させる技術では、ライフタイムがイオン注入前と同等に到達した結果と、本技術を用いたセル特

性が示された(北陸先端大)。また、Cat-doping によるボロンドーピング層を用いたセル特性の報告もあった(北陸先端大)。バックコンタクト構造への適用など今後の動向に注目したい。

評価技術については、ヘテロ接合型太陽電池の a-Si:H 実膜厚を想定した極薄 a-Si のギャップ内準位と輸送特性の水素希釈とアニール効果の評価結果の報告(産総研)があった。Rib 構造を有する薄型太陽電池の  $V_{oc}$ 、 $I_{sc}$  マッピングではセル裏面の Rib 部にウエハ厚み差に起因する  $I_{sc}$  と  $V_{oc}$  差が観測され Rib 構造の評価に有用な評価技術が発表された(都市大総研)。他にも、シリコンヘテロ接合太陽電池の発光を活用した Electroluminescence の発光外部量子効率と  $V_{oc}$  の相関を示す結果が報告された(都市大総研)。今後もこのようなセル構造を想定した評価技術の進展が期待される。

a-Si:H/c-Si ヘテロ接合界面における a-Si:H のボイド評価に関する発表がなされた。陽電子消滅法により求めたボイドサイズと分光エリプソメトリーにより求めた a-Si:H の光学定数との間に相関があるが、製膜時に  $B_2H_6$  ガスを加えると異なる物性を示すことが報告された。(神奈川大、産総研、筑波大)。北陸先端大のグループはヘテロ接合型結晶 Si 太陽電池の裏面 ITO 層を省略し、Al 金属電極を a-Si:H 層に直接堆積した結果を報告した。

ITO 製膜ダメージの評価に関する複数の発表があった。ITO を Reactive Plasma Deposition (RPD) や改良型スパッタ法で作製し、ITO/a-Si:H 界面ダメージを硬 X 線光電子分光法で評価した成果が紹介された。(明治大、北陸先端大、豊田工大) その他に、豊田工大のグループより RPD 法で作製した ITO の定量的なダメージ評価の試みとして ITO/SiO<sub>2</sub>/Si/AlMOS 構造の CV 測定が紹介された。

キャリア選択コンタクト材料として注目を集めている TiO<sub>x</sub> を用いた場合の界面物性について詳細な議論があり、ITO/TiO<sub>x</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si/AlMOS 構造の CV 測定により TiO<sub>x</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si の界面物性や製膜ダメージなどの定量的な評価により、キャリア選択性のメカニズムが解明しつつある印象を受けた。(豊田工大、名大、明治大)

多結晶シリコンに関しては、転位クラスターの発生・伝播を詳細に検討するツールとして画像処理した PL 像の利用が提案された(名大院)。また、非対称  $\Sigma 9$  結晶粒界に関して、2 種類のナノファセットによる安定構造が存在することを詳細な TEM により報告された(東北大)。単結晶シリコンに関しては、結晶中に  $2 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup> 程度含まれる酸素の熱処理に対する挙動について、酸素析出物そのものが少数キャリア寿命に及ぼす影響や、酸素析出物がリン拡散による金属ゲッターリングに及ぼす影響について報告が行われた(明治大理工)。

大橋これまであまり報告例がない高効率系太陽電池モジュールの温度特性評価、経年劣化についての報告があった。ヘテロ接合太陽電池において比較的溫度係数が小さいことが示された(佐賀大院工)。また、産総研九州センターに接地されている、多用途太陽電池モジ

ジュールにおいて実発電量と推定発電量の比較を行った結果について、報告がなされた(産総研)。初期の発電効率の低下が大きい、安定化したあとにおいては、比較的良好な一致を示した。さらにヘテロ接合系の太陽電池は、比較的安定しているのに対し、PERC 太陽電池モジュールは比較的大きな変化を見せた。まだ、期間が短いことから、より長期的な検証が必要ではあると考えられる。

異なるフラックスおよびその塗布領域により作製した太陽電池モジュールによるプレッシャークッカー試験および動的機械加重試験の劣化モードの解析について報告された(産総研 FREA)。フラックスの塗布領域が全面の場合に比較的早いタブ電極近傍における劣化の進行が確認された。また、EL 暗部において、タブ電極表面に Sn および O を検出している。複合試験による評価では、異なる紫外線波長透過率をもつ EVA を用いた太陽電池モジュールにおいて、紫外線照射後に湿熱負荷試験を行った(産総研)。紫外線を短波長まで透過する EVA において、より多くの酢酸量増加を確認した。これらは、多用電池モジュールの劣化試験方法において、より実環境に近い紫外線の影響を加味する必要を示唆している。またスズ薄膜センサによる紫外線照射後の湿熱試験による太陽電池モジュール内の酢酸濃度評価では、紫外線照射量の違いによる、モジュール中心部、端部の酢酸量の分布変化が報告された。

太陽電池モジュール評価については、電圧誘起劣化(potential induced degradation: PID)発生についてのメカニズムの解明や、PID 発生の加速試験に関する報告がなされた。PID 発生については幾つかのメカニズムが提案されているが、その詳細は明確にはなっていない。この中で PID 発生現象が、光および外部印加バイアス電圧に起因する pn 接合部の電界と空乏層が影響しているものと推定し、その確認実験を行った結果、光照射および外部印加によるバイアス電圧によって Na イオンが n 層表面から空乏層の p 層端までドリフトし、逆バイアス・電流パルスが印加された場合には局所的な加熱によってドリフトがさらに加速されると推定される事を確認した(岐阜大)。PID 発生メカニズムに対して、今後より詳細な検討を期待したい。

化学的転写法を用いた単純構造を有する結晶シリコン太陽電池に関する報告があり、作製条件の最低化により短波長感度が向上し発電効率も向上する興味深い結果が紹介された(阪大産研)。PEDOT:PSS を用いたシリコンヘテロ接合太陽電池に関する報告があり(埼玉大)、接合界面近傍における PEDOT と PSS の混合比を制御することが効率向上に繋がるとの報告がなされた。新規ヘテロ接合型正孔選択輸送層として p 型ヨウ化銅 (CuI) に関する報告(名大)があり、i-a-Si:H と i-a-SiO<sub>x</sub>:H のスタッキング膜をヘテロ界面に挿入することでパッシベーション性能が向上することが示された。また、電子選択層としての TiO<sub>x</sub> 層についての報告があり、ヘテロ界面の結合状態に関する結果が紹介された(名大)。また、界面に SiO<sub>x</sub> 中

間層を挟むことで、熱アニール時の  $\text{TiO}_x$  の結晶化を抑制する効果も見出された。スパッタを用いた a-Si:H 膜の形成に関する報告があり、チャンバー内不純物の抑制、放電電力の制御、2段階成膜の調整を行い、パッシベーション性能が向上することが示された(東工大)。今後の更なる進展を期待したい。太陽電池用パッシベーション膜として検討されている  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の固定電荷について報告がなされ(東北大)、数百ナノメートルスケールで電荷の空間的なバラツキがあることが見出された。さらに水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) 成膜中に飛来するプロトンの効果についての報告(産総研)があり、DFT 計算を用いた表面反応過程について詳細が報告された。今後は、得られた知見を踏まえ、より高品質な膜形成およびデバイス作成に繋がることを期待したい。

最後に執筆に際しご協力を賜りました、後藤 民浩先生(群馬大)、本間 剛先生(長岡技科大)、國井 稔枝様(Panasonic)、中田 和吉先生(東工大)、新船 幸二先生(兵庫県立大)、大橋 史隆先生(岐阜大)、布村 正太様(産総研)に深く感謝致します。