# 極薄 a-Si:H のギャップ内準位とキャリア捕捉

## Gap state distribution and carrier trapping in ultrathin a-Si:H

°布村 正太、坂田　功、松原　浩司（産総研太陽光発電研究センター）
°Shota Nunomura, Isao Sakata, Koji Matsubara (AIST RCPV)
E-mail: s.nunomura@aist.go.jp

水素化アモルファスシリコン（a-Si:H）は、ヘテロ接合型太陽電池のパッシベーション膜や薄膜シリコン太陽電池の活性層として用いられ、太陽電池の発電特性を決定づける重要な役割を担う。しかしながら、a-Si:H には、欠陥等に起因する多くのギャップ内準位が存在し（図 1 (a)）、キャリア捕捉に伴う輸送特性の低下が懸念されている。今回、極薄 a-Si:H のギャップ内準位、キャリア輸送とトラッピングを定量的に評価したので報告する。

評価に用いたサンプル（a-Si:H 薄膜 4-220nm)は、プラズマ CVD 法により、成膜温度($T_g$=80-240°C)の下でガラス基板上に作製した。サンプルの膜厚(d)、バンドギャップ($E_g$)及び屈折率($n_{520nm}$)は、分光エリプソメトリー測定より決定した。ギャップ内準位は、constant photocurrent measurement (CPM)法を用いて評価し、価電子帯テールの広がり（Urbach energy: $E_u$）と dangling bonds(DBs)に起因する深い準位の吸収係数($\alpha_{1.37eV}$)を求めた（図 1 (b)）。伝導帯テールに捕獲されたトラップ電子は、光学的ポンプ-プローブ法を用いて検出し、光電流の僅かな増分からその密度($n_t$)を決定した（図 1 (c)）[1,2]。

図 2 に、a-Si:H の電気的特性の膜厚(d)依存性を示す。図 2 (a)に示す通り、極薄膜化に伴いバンドギャップが広がると共に屈折率が減少する様子が確認された。また、図 2 (b)および(c)より、ギャップ内準位及びトラップ電子の密度は、約 10nm 以下の極薄膜に対し大幅に増加することが見出された。具体的には、極薄膜 4nm の a-Si:H に対し、$E_u$ ~ 135 meV、$n_t$ ~ 2.4 x 10 $^{18}$cm$^{-3}$、$\alpha_{1.37eV}$ ~ 200 cm$^{-1}$ となる結果を得た。また、光電流($I_p$)及びトラップ電流($I_t$)は、膜厚の減少と共に単調減少した。これらの結果より、極薄膜(約 10nm 以下)では、広いバンドギャップを有する疎な膜が形成されており、膜中には多くの DB 欠陥や構造乱れが存在することが示唆される。そのため、キャリア輸送時に多くのキャリアがテールステート等に捕獲され、輸送特性が低下していると考えられる。詳細は講演にて。

本研究は、科研費（課題番号 24540546, 15K04717）の補助及び NEDO の委託を受け実施されました。関係各位に感謝致します。

[1] S. Nunomura, X. Che and S. R. Forrest, *Adv. Mater.* **26**, 7555 (2014).
[2] S. Nunomura, I. Sakata and K. Matsubara, to be published in *Appl. Phys. Express*.

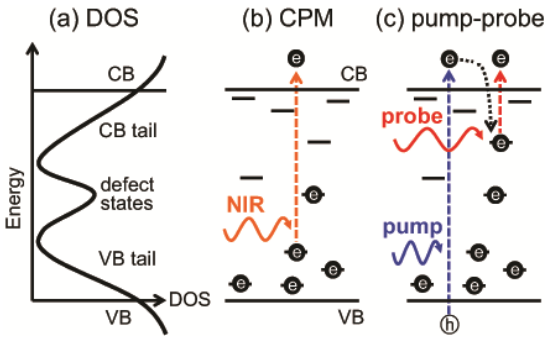


図 1　(a)状態密度分布(DOS)、(b)CPM 法及び(c)ポンププローブ法の概要。

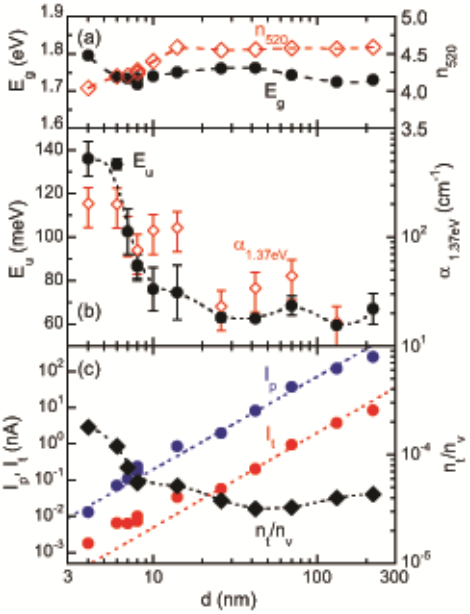


図 2 a-Si:H膜の電子状態の膜厚依存性。(a)バンドギャップ($E_g$)及び屈折率($n_{520}$)、(b) Urbach energy($E_u$) と深い準位の吸収係数。(c) 光電流($I_p$)、トラップ電流($I_t$)、トラップ電子密度($n_t$)。$n_v$ は、$n_t$の規格化に用いた価電子密度。