

極薄 a-Si:H のギャップ内準位と輸送特性 ～水素希釈とアニールの効果～

Gap states & transport properties of ultrathin a-Si:H ~ H₂ dilution & annealing effects~

産総研 太陽光発電研究センター, °布村 正太, 坂田 功, 松原浩司

AIST RCPV, °Shota Nunomura, Isao Sakata, Koji Matsubara

E-mail: s.nunomura@aist.go.jp

【はじめに】シリコンヘテロ接合(SHJ)太陽電池において、水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)パッシベーション膜は、結晶シリコン表面のダングリングボンド(DBs)欠陥を終端するとともに、キャリアの選択的な輸送を制御する極めて重要な役割を担う。筆者らは、これまでに、a-Si:H 極薄膜（膜厚 10nm 以下）のギャップ内準位とキャリア輸送特性を調査し、極薄膜化に伴い(i)ギャップ内準位は増加し輸送特性が低下すること、(ii)輸送特性を最適化する成膜温度は低温側にシフトすることを示してきた[1]。今回、太陽電池パッシベーション膜の作製プロセスで、性能向上に多用される水素希釈の効果と成膜後のアニリング効果について調査したので報告する。

【実験方法】プラズマ CVD 法 (60MHz-CCP) により、成膜温度(160°C)にてノンドープの a-Si:H 極薄膜（膜厚 10nm）をガラス基板上に製膜した。膜厚及び光学定数を分光エリプソメトリにより求めた。ギャップ内準位を constant photocurrent measurement (CPM)法を用いて測定し、価電子帯テールの広がり (Urbach energy: E_u) と DBs に起因する深い準位の吸収係数 $\alpha_{1.37\text{eV}}$ を求めた。また、光学的ポンプ-プローブ法を用いて[2]、伝導帯テールに捕獲されたトラップ電子密度 n_t 求めるとともにキャリア輸送特性を評価した。

【実験結果】a-Si:H 極薄膜の光学・電気特性の水素希釈率依存性を示す[3]。水素希釈率 $D_{H_2}>3$ において、バンドギャップ E_g は D_{H_2} の増加と共に広がり、屈折率 n_{520} は僅かに減少する傾向を示した(図 1 (a))。また、 E_u は増大し、DB 欠陥に起因する吸収 $\alpha_{1.37\text{eV}}$ はあまり変化しないことが確認された。一方、トラップ電流 I_t は、 $D_{H_2}=5-10$ 程度で最小化し、これに伴い光電流 I_p 増大することが確認された。これらの結果より、(i)希釈率の増加とともに、やや乱れた構造を有する疎な膜が形成されること、(ii)パッシベーションとキャリア輸送を両立するためには、適切な希釈率を選択する必要があること（今回の条件では $D_{H_2}=5-10$ 程度）が示唆される。講演では、アニール温度依存性を含め詳細を報告する。

【謝辞】本研究は、科研費（課題番号 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 et al., Appl. Phys. Express **10**, 081401 (2017).

[2] S. Nunomura et al., Adv. Mater. **26**, 7555 (2014).

[3] S. Nunomura et al, to be submitted.

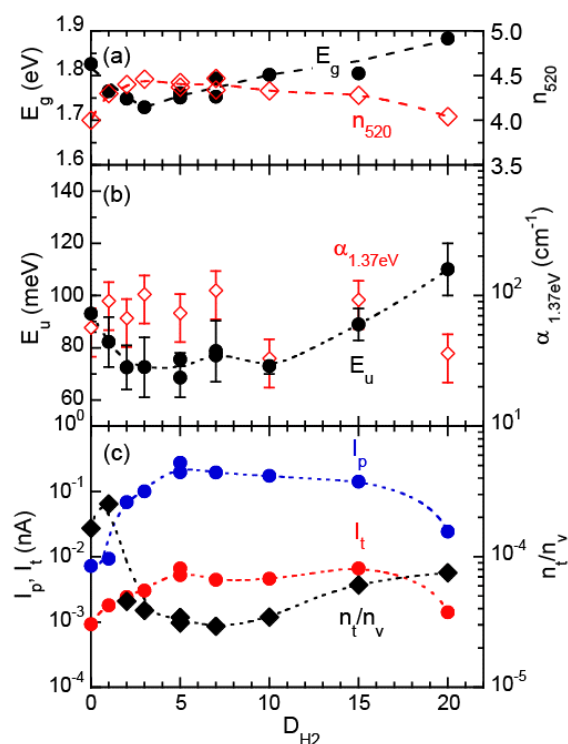


図 1 a-Si:H 極薄膜の光学電気特性の層厚希釈率依存性[3]。(a)バンドギャップ E_g 及び屈折率 n_{520} 、(b)Urbach energy E_u と DB欠陥に起因する吸収 $\alpha_{1.37\text{eV}}$ 。(c) 光電流 I_p 、トラップ電流 I_t 、トラップ電子密度 n_t 。 n_v は、 n_t の規格化に用いた価電子密度。