

PADS 法を用いたアモルファスシリコンの光劣化制御

Trial to Photo-Induced Degradation in Amorphous Silicon Prepared under PADS

阪大院基礎工¹, JST-CREST² ○傍島 靖^{1,2}, 松田 彰久^{1,2}, 岡本 博明^{1,2}Osaka Univ.¹, JST-CREST.², ○Yasushi Sobajima^{1,2}, Akihisa Matsuda^{1,2}, Hiroaki Okamoto^{1,2}
sobajima@ee.es.osaka-u.ac.jp

アモルファスシリコン(a-Si:H)は、最初にデバイス応用が報告された薄膜シリコン材料であり、シリコン半導体でありながら光吸収特性に優れている点から次世代太陽電池材料として注目された。しかしながら、1977 年に Staebler と Wronski が報告したいわゆる光劣化現象が太陽電池としての実用化を阻んできたが、もちろん、現象の解明や制御を目指し多くの研究がなされてきた。

これまでの研究の成果として、膜中 Si-H₂ 結合密度と光劣化の程度との関係性が報告されている。通常の膜成長基板温度における SiH₂ 結合密度の増加は、膜成長中に Si₄H₉ 等の高次シラン系粒子が膜中に取り込まれる為であると考えられてきた。これまで太陽電池における光劣化対策技術として、太陽電池光活性層の薄膜化と究極の光閉じ込め技術のホワイトセル法の併用^[1]、太陽電池光活性層の薄膜化と微結晶シリコンをボトムセル材料として用いたタンデム構造法^[2]、並びに膜中 Si-H₂ 結合密度低減のためのトライオード法の適用などが報告されているが、何れの方法も、高価格化や低製膜速度化のため、工業化への優位性を示すには至っていない。

我々は、膜中 Si-H₂ 結合密度の徹底的な低減を目的として、高温基板温度下での PADS (Precursor Assisted Defect Suppression) 法を用いた a-Si:H の製膜について検討を行っている。高温基板温度下では膜中 Si-H₂ 結合密度は大幅に低減する。一方、膜成長表面の結合水素は高温(350℃以上)になると熱脱離し、膜成長表面に多くの未結合手欠陥が生成する結果製膜された膜は高い欠陥密度を示すことになる。しかし、温度が一定である場合、熱脱離速度(欠陥生成速度)は一定である。この速度に打ち勝つだけの高速で SiH₃ 製膜支配種を表面に供給することで、定常状態における膜成長表面の欠陥密度は大きく低下する結果、製膜された膜中の低欠陥密度かつ SiH₂ 結合水素密度低減を実現することができる。これが PADS 法である。

図 1 は、製膜基板温度に対する膜中水素量(Si-H、Si-H₂)及び、膜中欠陥密度を示す。図より Si-H、Si-H₂ の膜中水素含有量は単調に減少しているのに対し、膜中欠陥密度は基板温度増加に対し減少傾向を示した後、350℃以上の領域では増加傾向を示す。図 2 は投入電力変化に対する膜中欠陥密度変化を示す。図より、投入電力を増加させることにより膜表面に供給される SiH₃ 密度は増加し、結果欠陥密度は単調に減少した。しかし、より高投入電力領域では単寿命反応種(Si、SiH、SiH₂)の膜成長への寄与が大きくなり、さらにイオン種の製膜への寄与率も増加するために、欠陥密度は飽和傾向を示している。当日はこれらの欠点を克服した真の PADS 膜の紹介と、その膜の光劣化特性について報告する。

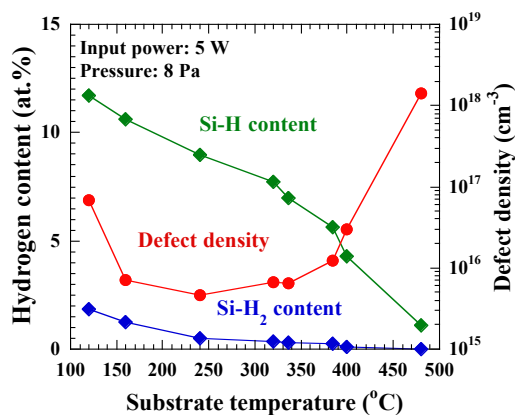


Figure 1. Hydrogen content (Si-H, Si-H₂) in resulting a-Si:H as a function of substrate temperature.

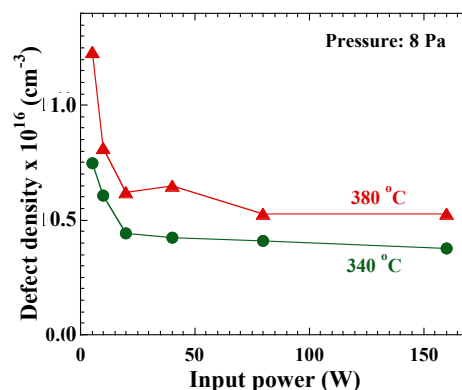


Figure 2. Dangling bond defect density of resulting a-Si:H as a function of input power at 340 or 380 °C.

[1] S. Benagli et al., 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, September 2009, 3BO.9.3.

[2] A. Banerjee, et al., IEEE J. Photovoltaics. 2 (2012) 99.