微結晶シリコン高速度製膜時における ガス気相温度評価

Gas temperature estimation of microcrystalline silicon-film-growth-process under high pressure in VHF-PECVD

Osaka Univ., °Yasushi Sobajima[1], Daisuke Kitano, Haruka Kubota, Kohei Kodama, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto

○傍島 靖，北野 大介，久保田 晴香，兒玉 光平，松田 彰久，岡本 博明（阪大院基礎工）
E-mail: sobajima@ee.es.osaka-u.ac.jp

薄膜シリコン系材料の高品質化に向けた重要な評価指標として、電子温度(T_E)が挙げられる。これまで我々は、プラズマ気相スペクトル評価を用いた T_E の推定に基づく、微結晶シリコン(μc-Si)の高品質膜作製条件の探求を行い、高品質デバイスを実現し報告を行ってきた[1]。一方、μc-Si では、高圧力・高投入電力下での高速度製膜条件下（～6.0 nm/sec）においては、従来の低速度製膜条件（～0.2 nm/sec）に比べ、ガス気相温度(T_G)の著しい上昇が生じ、高品質化の妨げになっていると推定される。しかしプラズマ気相へのプローブ挿入による T_G の直接観測手法では、短電極間隔を用いる高速度製膜時のプラズマ気相中では、気相への影響が生じ、観測は困難であった。

本発表では、従来の T_E の観測に用いてきた、プラズマ発光スペクトルを T_G 変化に起因したピークを観測することで、間接的な T_G のリアルタイム推定を行い、更なる膜の高品質化を図った。

VHF プラズマ(100 MHz) CVD 法での高速度製膜時における、ガス気相温度(T_G)評価として、製膜時における SiH_4/ H_2 プラズマ発光スペクトルを観測し、H_2 の回転・振動準位への電子励起過程に起因する、Fülcher band での発光(波長λ = 601、605 nm)を観測した。更に各波長での発光強度比(I_{TG}、I(601)/ I(605)) の大きさを T_G の大小の指標として用いた。一般的な高速製膜条件としては、電極間隔 9 mm、製膜圧力 21 Torr、基板温度: ~180 °C、投入電力 70 W とした。

まず、低圧(~ 1 Torr、電極間隔: 20 mm) 条件下で SiH_4/ H_2 プラズマ中の I_{TG} の基板温度依存性を観測した。尚、基板温度以外のプラズマ生成条件は一定とする。図 1 より、基板温度とともに T_G は単調に増加しており、I_{TG} が T_G の指標となる事を示している。次に高圧条件下(21 Torr)での投入電力依存性を測定した。投入電力に対し、T_G は単調に増加しており、特に暗電気伝導度等への物性値が低下する(図 2)ため、製膜条件の見直しが必要となる。以上より電子温度 T_E と併せてガス気相温度 T_G を評価することにより、プラズマ中の状態を推し量ることが可能となった。T_E 及び T_G の観測を基に、製膜速度~5 nm/sec、光感度(σ_d/ σ_p)1000 程度の高品質膜を作製することが可能となり、同条件を n-i-p 構造 μc-Si 太陽電池の光電変換層に適用したところ、変換効率 7.31 % (0.23 cm^2) を実現した。詳細については当日報告する。[1] 傍島、他 第 71 回応用物理学会学術講演会 14p-ZB-9 (2010).

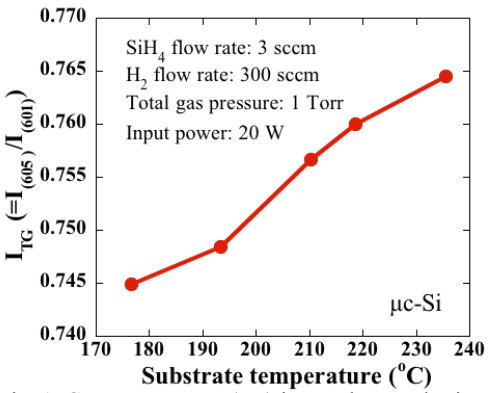

Fig. 1. Gas temperature (I_{TG}) in H_2 plasma plotting against of substrate (heater) temperature.

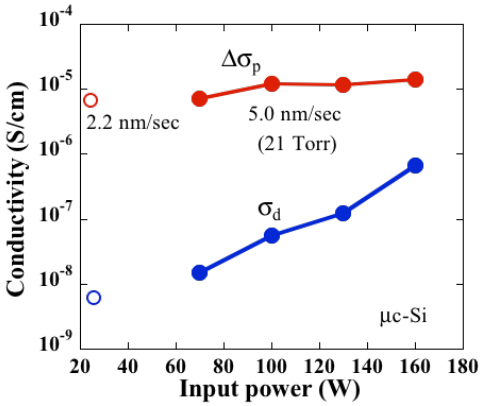

Fig. 2. Dark (σ_d) and photoconductivity ($\Delta\sigma_p$) as a function of substrate (heater) temperature.