

a-Si:H/c-Si ヘテロ界面近傍ボイド構造の高速評価 —ボイドサイズ・水素結合・Si 結合角ゆらぎの相互相関—

Fast characterization of void structures near a-Si:H/c-Si heterointerfaces: Cross-correlation between the void size, hydrogen bonds and silicon bond angle dispersion

神奈川大工 電気電子情報¹, 産総研 分析計測標準研究部門², 筑波大学 物理工学域³

○松木伸行¹, ブライアン・オローク², 大島永康², 上殿明良³

Kanagawa Univ.¹, Natl. Inst. Adv. Indust. Sci. Technol. (AIST)², Univ. Tsukuba³

○Nobuyuki Matsuki¹, Brian E. O'Rourke², Nagayasu Oshima², Akira Uedono³

E-mail: matsuki@kanagawa-u.ac.jp

【はじめに】水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) におけるボイド構造の体積分率と、未結合欠陥生成に関わる Si-H₂ 結合密度は正の相関関係を持つことが知られている。このことから、a-Si:H 層中ボイドは a-Si:H/結晶 Si (c-Si) ヘテロ接合太陽電池 (HJSC) の特性を低下させる要因になると考えられてきた。ところが、最近の報告で、ボイドが多く低密度の a-Si:H 層を用いる方が熱アニール処理中に a-Si:H/c-Si 界面への水素拡散が促進されるため、低温不均一エピタキシャル成長が抑制され高い開放電圧が得られるとの実験結果が示された[1]。このことは、a-Si:H/c-Si HJSC のパッシベーション効果を最適化する「適度なボイド構造」の存在を示唆している。我々は、陽電子消滅法により決定されたボイドサイズと a-Si:H の光学定数との間に系統的な相関があることを見出し、分光エリプソメータを用いて nm 膜厚 a-Si:H のボイドサイズを簡便に求める手法を提案した[2, 3]。この手法に基づき、a-Si:H 膜中水素結合・Si 結合角ゆらぎなど他の物性とボイドサイズとの相関関係を調べ、パッシベーション効果を最適化させるキーパラメータの解明を目指した。

【実験】表面化学洗浄処理を施した FZ-Si(111)基板上へプラズマ CVD 法により a-Si:H 層を 150 nm 厚製膜し、a-Si:H/c-Si ヘテロ接合構造を作製した。製膜時基板温度 (T_s) は 80~280 °C の範囲で変化させた。150 nm 厚の a-Si:H 層を用いた陽電子消滅測定結果から算出した平均ボイドサイズと分光エリプソメトリ解析から求めた光学定数との相関関係を用いて、0.8~150 nm の広範囲にわたる a-Si:H 膜厚に対しボイドサイズを算出した。

【結果】図 1 に、 $T_s = 80, 130, 180$ °C における、ボイドが球状と仮定した場合のボイド直径 D_{void} の a-Si:H 膜厚依存性を示す。 D_{void} は a-Si:H 膜厚 $t_{\text{a-Si:H}} = 5 \sim 10$ nm の領域で急激に減少し、その後一定値へ収束していることがわかる。この D_{void} が収束する膜厚は、一般的に a-Si:H/c-Si ヘテロ接合構造の少数キャリア寿命が飽和するために必要な最小膜厚と同等である。

図 2 に、赤外吸収スペクトルよりピーク分離を行って求めた低波数側 Si-H 結合伸縮振動 (LSM) 赤外吸収ピーク位置波数と D_{void} との相関を示す。同ピーク位置波数 k のシフト量 Δk は $\Delta k \propto -1/(D_{\text{void}}^3 k)$ と表すことができ[4]、図 2 の相関は上式で表される傾向に一致している。このことは、ボイド内表面に Si-H₂ とともに Si-H も存在することを示唆している。

[1] W. Liu *et al.*, J. Appl. Phys. **120**, 175301 (2016).

[2] 松木伸行他, 応物春季講演, 11a-C2-8 (2015).

[3] N. Matsuki *et al.*, ISPlasma 2015, C3-O-03 (2015).

[4] M. Cardona, Phys. Stat. Sol. (b) **118**, 463 (1983).

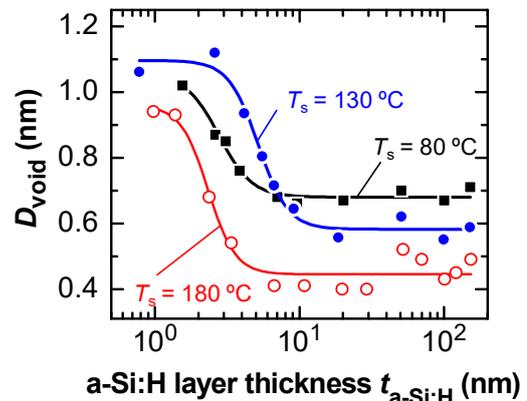


図 1 異なる基板温度 T_s で製膜した a-Si:H 層での膜厚に対する平均ボイド直径の推移。

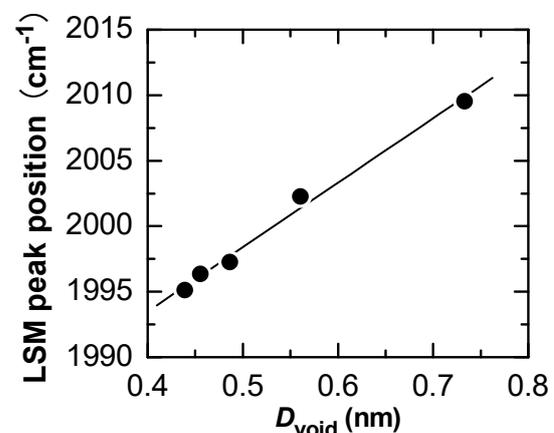


図 2 低波数側 Si-H 結合伸縮振動赤外吸収ピーク位置波数と平均ボイド直径との関係。