

P-ion-implanted n-BaSi₂ 膜の太陽電池応用 Solar cell application of P-ion-implanted n-BaSi₂ films

筑波大, °青貫 翔, 都甲 薫, 末益 崇

Univ. Tsukuba, °Sho Aonuki, Kaoru Toko, Takashi Suemasu

Email: s2130091@s.tsukuba.ac.jp

【背景・目的】

本研究では薄膜太陽電池材料として BaSi₂ に注目した^[1]。BaSi₂ は資源が豊富な元素で構成する半導体であり、太陽電池に適した禁制帯幅 (1.3 eV) を有する。また、大きな光吸収係数 ($3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ @ 1.5 eV) と優れた少数キャリア拡散長 (10 μm) を両立する。近年、n 型ドーパントに Sb を用いて BaSi₂ ホモ接合型太陽電池の動作を実証した^[2]。しかし、Sb の拡散係数は非常に小さく^[3]、急峻な pn 接合の作製が難しい。これまで、GaAs を原料として As-doped n-BaSi₂ 膜の作製および光学特性向上に成功した^[4]。しかし、格子間 As がアクセプタ準位を形成するため^[5]、伝導型制御が困難である。先行研究では、P のイオン注入により n-BaSi₂ 膜の作製および伝導型制御に成功した^[6]。本研究では、P-ion-implanted n-BaSi₂ 膜の太陽電池応用を目的とした。

【実験】

MBE 法により Si (111) 基板上に undoped BaSi₂ 膜を 100 – 200 nm エピタキシャル成長した。表面には BaSi₂ のパッシベーション膜である a-Si を *in situ* で 3 nm 堆積した。その後、イオン注入装置により PF₃ を用いて P をイオン注入した。イオン注入時の加速電圧は 10 keV、ドーズ量は 10^{14} cm^{-2} に設定した。最後に、Ar 雰囲気下において 500 °C のポストアニールを 2, 8 分間行った。試料の結晶性をラマン分光法、電気特性をホール測定、太陽電池特性を *J-V* 測定、P の分布を SIMS により評価した。

【結果・考察】

Fig. 1 に各試料のラマンスペクトルを示す。PF₃ のイオン注入により、as-grown の試料と比較して BaSi₂ 中の Si 四面体由来のピーク強度が減少した。そこで、500 °C のポストアニールを施すとピーク強度が向上した。よって、ポストアニールによりイオン注入のダメージを回復したといえる。また、P-ion-implanted n-BaSi₂ 膜の電子密度は $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるため、P が BaSi₂ の n 型ドーパントとして機能した。膜内に均一に P が分布したと仮定すると、P の活性化率は約 30% である。Fig. 2 に P-ion-implanted n-BaSi₂/p-Si ヘテロ接合型太陽電池の *J-V* 特性を示す。イオン注入法を用いた BaSi₂/Si ヘテロ接合型太陽電池の初動作を達成した。しかし、変換効率は 0.28% と小さい。この値は MBE 法により作製した Sb-doped n-BaSi₂/p-Si ヘテロ接合型太陽電池の 1.5% を大きく下回る^[7]。SIMS の結果から、ポストアニールにより表面や界面への P の析出を観測した。したがって、析出した P が直列抵抗と並列抵抗を劣化させ、開放電圧の低下に寄与したと考えられる。

【参考文献】

- [1] T. Suemasu and D. B. Migas, *Phys. Status Solidi* **2100593**, 1 (2021).
- [2] K. Kodama *et al.*, *Appl. Phys. Express* **12**, 041005 (2019).
- [3] N. Zhang *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 04ER02 (2014).
- [4] S. Aonuki *et al.*, *Thin Solid Films* **738**, 138969 (2021).
- [5] S. Aonuki *et al.*, *Thin Solid Films* **724**, 138629 (2021).
- [6] K. O. Hara *et al.*, *Thin Solid Films* **557**, 90 (2014).
- [7] K. Kodama *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 050310 (2018).

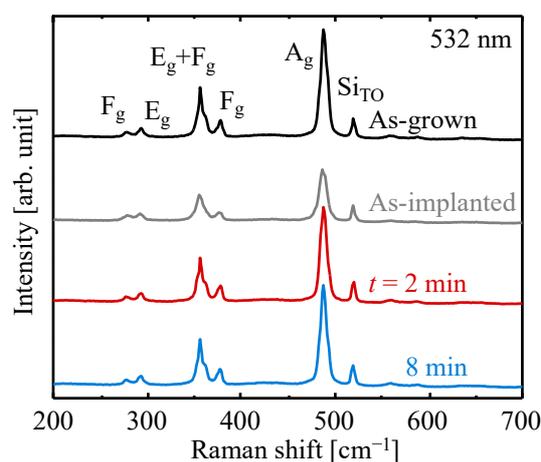


Fig. 1 Raman spectra of P-ion-implanted BaSi₂ films annealed at 500 °C for 2, 8 min.

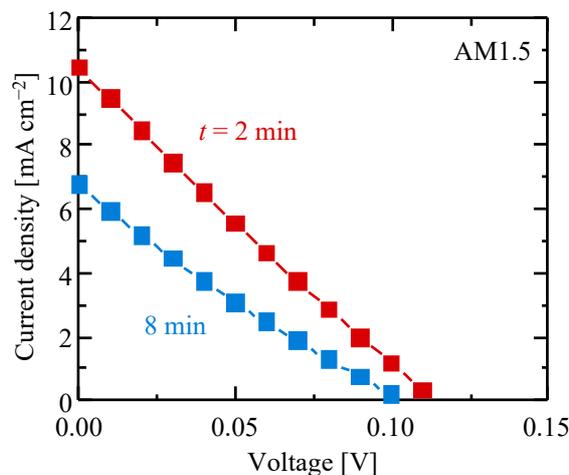


Fig. 2 *J-V* characteristics of P-ion-implanted n-BaSi₂/p-Si hetero-junction solar cells annealed at 500 °C for 2, 8 min under AM1.5.