

n^+ -AZO/p-BaSi₂ 太陽電池における $Zn_{1-x}Ge_xO$ 界面層の検討

Effect of $Zn_{1-x}Ge_xO$ interlayer on n^+ -AZO/p-BaSi₂ heterojunction solar cells

筑波大¹, 高エネ研² ○山下 雄大¹, 北村 未歩², 堀場 弘司², 都甲 薫¹, 末益 崇¹

Univ. Tsukuba¹, KEK², °Yudai Yamashita¹, Miho Kitamura², Koji Horiba², Kaoru Toko¹, Takashi Suemasu¹

E-mail: bk201311068@s.bk.tsukuba.ac.jp

【背景】 BaSi₂ は豊富な元素で構成される半導体でありながら、光吸収係数 ($3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ @ 1.5 eV) と少数キャリア拡散長 (10 μm) がどちらも大きく、禁制帯幅 (1.3 eV) も太陽電池に適しているため、新規薄膜太陽電池材料として注目している¹⁾。これまでの研究で、Al-doped n^+ -ZnO (AZO)/p-BaSi₂ ヘテロ接合太陽電池についてシミュレーションをベースに設計し、太陽電池動作を初めて実証した^{2,3)}。しかし、開放電圧は 0.1 V と小さかった。これは、ZnO/BaSi₂ 界面のバンド不連続が大きいことに起因して、光生成キャリアが界面に蓄積し、再結合が生じたためと考えられる (Fig. 1(c))。したがって、伝導帯オフセットが小さい界面層を挿入し、電子とホールを空間分離することで、再結合割合を劇的に低減できると考えた (Fig. 1(d))。また、酸化膜により BaSi₂ 膜表面が不活性化することが知られている⁴⁾。そこで本研究では、このような界面層として、 $Zn_{1-x}Ge_xO$ (ZGO) を選んだ。ZGO の電子親和力 $q\chi$ は Ge 組成を変えることで BaSi₂ と同じ 3.2 eV に制御可能であることが実証されており、上記効果が期待できる⁵⁾。

【実験手法】 MBE 装置を用いて、Fig. 2 に示すように p^+ -Si(111) 基板 ($\rho < 0.01 \Omega\text{cm}$) 上に B-doped BaSi₂ (ホール密度 $9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) を 50 nm エピタキシャル成長した。その後、*in situ* で ZGO を 1–5 nm スパッタ法で加熱堆積した。 $q\chi$ を BaSi₂ と同等にするため、Ge 組成 x を 0.36 とした。本研究では太陽電池作製の前段階として、ZGO 膜の禁制帯幅を分光感度測定で評価した。

【結果・考察】 Fig. 3(a,b) に、光学顕微鏡による表面観察像を示す。ZGO の膜厚が 1 nm のとき、三角形の表面模様がみられ、全面が被覆できていないことがわかる。一方、1.5 nm 以上堆積した場合には、十分に平坦な膜が全面に被覆できた。次に、分光感度測定を用いて ZGO 膜の直接吸収端を測定した。Fig. 3(c) に示す通り、禁制帯幅が約 3.8 eV であることが分かった。ここから算出される Ge 組成比 x は約 0.33 であり、計画していた値 0.36 に近い。今後、ZGO/BaSi₂ 界面のバンドアライメントを KEK-PF BL-2A 軟 X 線光電子分光法 (SXPS) で評価する。

1) T. Suemasu and N. Usami, J. Phys. D: Appl. Phys. **50**, 023001 (2017).

2) Y. Yamashita *et al.*, JSAP Autumn Meeting 11p-Z01-6 (2020).

3) Y. Yamashita *et al.*, submitted.

4) R. Takabe *et al.*, J. Appl. Phys. **119**, 025306 (2016).

5) T. Minami *et al.*, Appl. Phys. Express **9**, 052301 (2016).

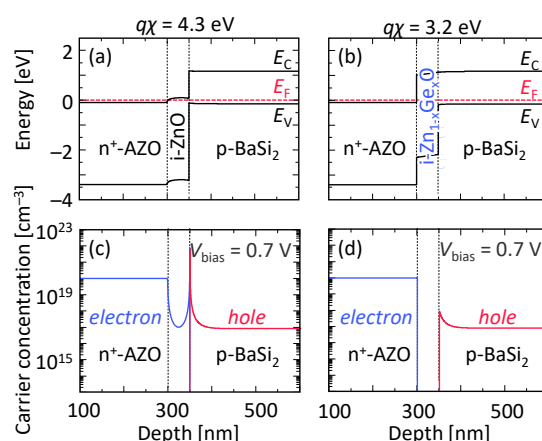


Fig. 1 Simulated (a,b) band alignment and (c,d) depth profiles of carrier concentration of n^+ -AZO/buffer/p-BaSi₂ under bias voltage of 0.7 V. $q\chi$ of buffer layer is set to 4.3 and 3.2 eV.

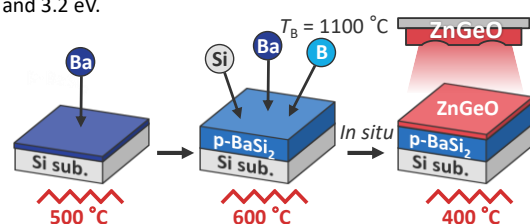


Fig. 2 Schematic of sample preparation procedure. After two step growth of BaSi₂ by MBE, ZGO was *in situ* sputtered.

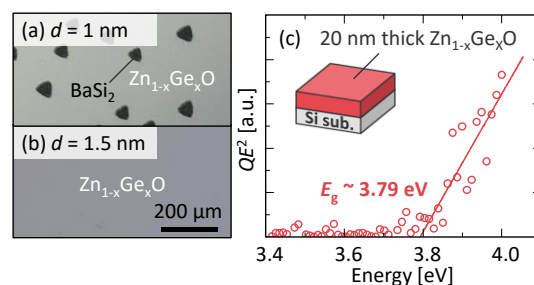


Fig. 3 Optical microscopy observation of (a) 1-nm-, (b) 1.5-nm-thick $Zn_{1-x}Ge_xO$ on p-BaSi₂. (c) Dependence of square of the photocurrent per incident photon on photon energy for $Zn_{1-x}Ge_xO$.