

シリサイド系半導体材料 BaSi₂ を用いた Si ベース ヘテロ接合太陽電池の作製

Fabrication of Si-based heterojunction solar cells with semiconducting silicide BaSi₂

¹筑波大学院 数理工学科学研究科, ²名古屋大学

○塚原 大地¹, 武内 大樹¹, Weijie Du¹, 高部 涼太¹, 都甲 薫¹, 宇佐美 徳隆², 末益 崇¹
Univ. Tsukuba¹, Nagoya Univ.²

○Daichi Tsukahara¹, Hiroki Takeuchi¹, Weijie Du¹, Ryota Takabe¹, Kaoru Toko¹, Noritaka Usami², Takashi Suemasu¹
E-mail: bk201011062@s.bk.tsukuba.ac.jp

【背景】 BaSi₂ は 1.3 eV の禁制帯幅を持ち、1.5 eV の光子に対し $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ と高い光吸収係数(α)を有するため、高効率薄膜太陽電池材料として注目されている^{1,2}。伝導型制御は不純物添加により達成されており、Boron (B)を添加することで広範囲で正孔密度を制御でき、最大で約 $p = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ が得られている^{3,4}。しかし、B-doped p-BaSi₂における B の活性化率は数%と低く、多数の B クラスタが膜中に存在する⁵。また、これまで B-doped p-BaSi₂は主にホール測定から評価されており、これを用いたデバイスでは報告されていない。そこで本研究では n-Si(111)基板上に MBE 法を用いて B-doped p-BaSi₂を堆積することで n-Si/p-BaSi₂ヘテロ接合ダイオードを作製し、太陽電池特性を評価した。

【実験】 熱反応堆積法(RDE 法)及び MBE 法を用いて、600 °C に加熱した n-Si(111) ($\rho = 0.5 - 0.8 \Omega\cdot\text{cm}$)基板上に厚さ 50 nm(sample A, B)及び 20 nm(sample C)の B-doped p-BaSi₂膜($p = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を堆積した。結晶性の評価には反射高速電子線回折、 θ - 2θ X 線回折を用い、 a 軸配向した BaSi₂膜が成長したことを確認した。Sample B, C については MBE 成長終了後に in situ で p-BaSi₂表面に 4 nm の a-Si をキャップ層として堆積した。undoped BaSi₂においてはこの a-Si が少数キャリア寿命の増大に寄与する⁶。試料表面(p-BaSi₂側)に厚さ 200 nm, 直径 1 mm の ITO 電極を、裏面(n-Si 側)に Al 電極をスパッタ法により堆積した。電流密度-電圧(J - V)特性は、100 mW/cm² の AM1.5 の太陽光スペクトルを ITO 電極部分のみに照射した状態で評価した。

【結果・考察】 Figure 1 に n-Si/p-BaSi₂ヘテロ接合のバンド構造を示す。Si/BaSi₂界面には伝導帯下端及び価電子帯上端においてそれぞれ $\Delta E_C = 0.85 \text{ eV}$, $\Delta E_V = 0.65 \text{ eV}$ のバンド不連続が存在する。しかし、この接合においてバンド不連続は少数キャリア輸送を妨げず、電子正孔対の分離を促進する。

Figure 2 に sample A-C の J - V 特性を、太陽電池特性を Table I に示す。a-Si キャップにより特性が改善され、sample B では sample A よりも大きな短絡電流密度 $J_{SC} = 21.4 \text{ mA/cm}^2$, 開放電圧 $V_{OC} = 0.29 \text{ V}$, 変換効率 $\eta = 2.8\%$ が得られた。これは a-Si キャップを施すことで表面欠陥が抑制され ITO 電極と p-BaSi₂ 界面における正孔の輸送が促進されたためだと考えている。また、p-BaSi₂ の膜厚 $d_{p\text{-BaSi}_2}$ を 20 nm とすることで特性が更に改善され、sample C では $J_{SC} = 26.7 \text{ mA/cm}^2$, $V_{OC} = 0.38 \text{ V}$, $\eta = 6.2\%$ が得られた。これは p-BaSi₂ の少数キャリア拡散長が短く、 $d_{p\text{-BaSi}_2}$ が大きいと光電流に寄与しないフォトンが増加するためだと考えられる。

以上より n-Si/p-BaSi₂ヘテロ接合太陽電池の作製に成功し、a-Si キャップの有無、また p-BaSi₂膜厚が特性に大きく影響を与えることが分かった。BaSi₂を用いた本格的な太陽電池は本研究が初の報告例であり、 $J_{SC} = 26.7 \text{ mA/cm}^2$, $V_{OC} = 0.38 \text{ V}$, $\eta = 6.2\%$ という値はこれまで報告されている FeSi₂等の半導体シリサイドを用いた太陽電池の中で最も大きな値である⁷⁻⁹。

1) K. Morita *et al.*, Thin Solid Films **508** (2006) 363. 2) K. Toh *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **50** (2011) 068001. 3) M. A. Khan *et al.*, Appl. Phys. Lett. **102** (2013) 112107. 4) M. A. Khan *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104** (2014) 252104. 5) D. Tsukahara *et al.*, J. Appl. Phys. **116** (2014) 123709. 6) R. Takabe *et al.*, J. Appl. Phys. **115** (2014) 152114. 7) Z. X. Liu *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **90** (2006) 276. 8) G. K. Dalapati *et al.*, ACS Appl. Mater. Inter. **5** (2013) 5455. 9) A. Bag *et al.*, J. Renew. Sust. Energ. **6** (2014) 023110.

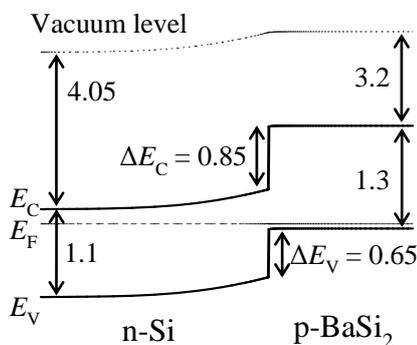


Fig. 1 Schematic of the n-Si/p-BaSi₂ heterojunction.

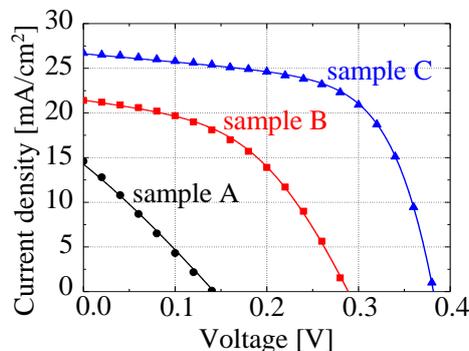


Fig. 2 J - V characteristics of n-Si/p-BaSi₂ heterojunction diodes for samples A-C under AM1.5.

Table I Solar cell properties for samples A-C.

sample	A	B	C
a-Si capping	w/o	w/	w/
$d_{p\text{-BaSi}_2}$ [nm]	50	50	20
efficiency [%]	0.2	2.8	6.2
J_{SC} [mA/cm ²]	14.6	21.4	26.7
V_{oc} [V]	0.14	0.29	0.38
FF	0.25	0.46	0.61