# MBE 法による As-doped BaSi2 膜の作製と評価

Fabrication of As-doped BaSi<sub>2</sub> films grown by molecular beam epitaxy

筑波大<sup>1</sup>, <sup>0</sup>青貫 翔<sup>1</sup>, 山下 雄大<sup>1</sup>, 都甲 薫<sup>1</sup>, 末益 祟<sup>1</sup>

## Univ. Tsukuba <sup>1</sup>, <sup>o</sup>Sho Aonuki<sup>1</sup>, Yudai Yamashita<sup>1</sup>, Kaoru Toko<sup>1</sup>, Takashi Suemasu<sup>1</sup>

#### E-mail: s1510958@s.tsukuba.ac.jp

## 【背景·目的】

本研究では薄膜太陽電池材料として BaSi<sub>2</sub> に注目している。BaSi<sub>2</sub> は資源 が豊富な元素で構成される半導体であり、太陽電池に適した禁制帯幅(1.3 eV)を有する。さらに、大きい光吸収係数(3×10<sup>4</sup> cm<sup>-1</sup>@1.5 eV)と優れた少 数キャリア拡散長(10 µm)の双方を両立している。現在、25%を超える変換 効率が実現可能な<sup>[1]</sup>BaSi<sub>2</sub>-pn ホモ接合太陽電池の作製を目指しており, 最近の研究で初動作に成功した<sup>[2]</sup>。ホモ接合太陽電池の高効率動作には p、n両方の伝導型制御が必要不可欠である。現在、n-BaSi<sub>2</sub>のドーパントに は電子密度の連続的な制御が可能<sup>[3]</sup>な Sb が用いられているが、Sb の拡散 係数は非常に大きく<sup>[3]</sup>、急峻な pn 接合の作製が困難である。Sb に代わるド ーパントとして拡散係数が小さい As が挙がる。As はこれまでにイオン注入 法により電子密度の連続的な制御に成功しているものの<sup>[4]</sup>、注入時のダメ ージが問題となっている。そこで本研究では、MBE 法により As-doped BaSi<sub>2</sub>を作製することによって、n-BaSi<sub>2</sub>の高品質化を目指した。

#### 【実験】

MBE 法により Cz-p-Si (111) 基板 ( $\rho > 1000 \ \Omega$ cm) 上に As-doped BaSi<sub>2</sub>を 200 nm エピタキシャル成長した。As の供給源には放出される As の蒸気圧 が単体 As よりも小さい GaAs を用いた。本研究では MBE 成長時の基板温 度の影響を調査するため、GaAs のセル温度  $T_{GaAs} = 750 \$ C, Ba と Si の堆 積レート比  $R_{Ba}/R_{Si} = 2.6$  に固定し、基板温度  $T_{Sub.} = 600 - 700 \$ Cの範囲で 変えた。表面には BaSi<sub>2</sub>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。さらに、スパッタ法を用いて表面に直径 1 mm、厚さ 150 nm の Al 電極を作製した。本研究では、結晶性の評価に RHEED と $\theta$ -2 $\theta$  XRD を用 いた。また、電気特性評価にはホール測定を行い、キャリア密度を算出し た。加えて、SIMS による元素の深さ方向分析も行った。

### 【結果·考察】

Fig. 1 に各試料の  $\theta$ -2 $\theta$  XRD パターンと MBE 後の RHEED 像を示す。 RHEED からは  $T_{sub.} \ge 625 \circ C \circ Z$ トリークパターンが得られたが, XRD から は  $T_{sub.} \ge 625 \circ C \circ a$  軸以外のピークが検出され,  $T_{sub}$ が高くなるとa 軸配向 が乱れることがわかった。Fig. 2 にキャリア密度の  $T_{sub}$ .依存性を示す。 $T_{sub.} =$  $600 \circ C \circ C \circ d$ 試料の抵抗値が大きく、キャリア密度が得られなかった。その他 全ての試料において n 型を示し,電子密度は  $T_{sub.} = 625 \circ C \circ$ 最大となった。 したがって,  $T_{sub.} = 600 - 625 \circ C \circ$ 電子密度が最大になると予想される。Fig. 3 に  $T_{sub.} = 650 \circ C$ における As と Ga 元素の深さ方向分布を示す。As は BaSi<sub>2</sub> 中に 10<sup>22</sup> cm<sup>-3</sup>と過剰にドープされており, Gaも 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>存在すること

## 【参考文献】

- [1] T.Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 07JA01 (2015).
- [2] K.Kodama et al., Jpn. Appl. Phys. 57, 0510310 (2018).
- [3] M.Kobayashi et al., Appl. Phys. Express 1, 051403 (2008).



atoms and secondary ions (Ba + Si) of BaSi<sub>2</sub> grown with  $T_{sub} = 650$  °C.

[4] N.Zhang *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 04ER02 (2014).
[5] K.O.Hara *et al.*, Thin Solid Films **567**, 105 (2014).

がわかった。この結果から、T<sub>sub</sub>=650 ℃の試料の電子密度は Ga, もしくは Si 空孔が寄与していると考えられる。