

KFM 法による Sb-doped BaSi₂ 薄膜表面の粒界ポテンシャル評価 Investigation of potential at grain boundaries in Sb-doped BaSi₂ thin-films by Kelvin probe force microscopy

¹筑波大院 数理物質科学研究科 ²名古屋大学 ³JST-CREST

○塚原 大地¹, 馬場 正和¹, 高部 涼太¹, 都甲 薫¹, 渡辺 健太郎¹, 原 康介²,
宇佐美 徳隆^{2,3}, 末益 崇^{1,3}

¹Univ. Tsukuba, ²Univ. Nagoya, ⁴JST-CREST,

○D. Tsukahara¹, M. Baba¹, R. Takabe¹, K. Toko¹, K. Watanabe¹, K. Hara²,
N. Usami^{2,3}, T. Suemasu^{1,3}

E-mail:bk201011062@s.bk.tsukuba.ac.jp

【背景・目的】

BaSi₂は地殻埋蔵量の豊富な元素である Ba, Si により構成され、光吸収係数が 1.5 eV の光子に対して $3 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ と大きく、禁制帯幅が 1.3 eV と太陽電池に適した値であることから、高効率薄膜太陽電池材料として期待できる[1,2]。BaSi₂は Si(111)基板上に 3 回対称のドメインでエピタキシャル成長することがわかっており[3]、最大でも粒径が 4 μm であることから[4]、多数の粒界が存在する。過去の研究により、Si(111)基板上的 undoped n-BaSi₂ の粒界におけるバンド構造は下に凸であり、障壁高さも約 30 meV と小さいことから少数キャリア(正孔)は粒界においてトラップされ難いことが分かっているが[5]、BaSi₂の n 型制御のためのドーパントである Sb を添加した場合の粒界の性格についてはまだ分かっていない。そこで、Sb-doped BaSi₂ の粒界の性格を明らかにするために、ケルビンプローブ原子間力顕微鏡法(KFM 法)を用いて粒界ポテンシャル評価を行った。

【実験】

超高真空チャンバー内で熱反応堆積法(RDE 法)と分子線エピタキシー法(MBE 法)の 2 段階結晶成長を行い、Sb-doped BaSi₂膜を Si(111)基板上に作製した。RDE 成長時の条件は $T_{\text{sub}} = 500^\circ\text{C}$, $R_{\text{Ba}} = 1.0 \text{ nm/min}$ として 5 分間行い、MBE 成長時の条件は $T_{\text{sub}} = 520^\circ\text{C}$, $R_{\text{Ba}} = 3.0 \text{ nm/min}$, $R_{\text{Si}} = 1.0 \text{ nm/min}$, $T_{\text{Sb}} = 250^\circ\text{C}$ として 3 時間行った。段差計による測定の結果膜厚は 198 nm となり、ホール測定の結果キャリア密度は $2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となった。結晶性の評価には反射高速電子線回折(RHEED)、 θ - 2θ X 線回折を用い、表面ポテンシャル評価には KFM 法を用いた。

【結果】

図 1(a), (b)に試料表面の同一箇所における、 $3 \times 3 \mu\text{m}$ 四方の表面トポロジー像と表面ポテンシャル像を示す。また図 2(a), (b)に図 1 の点線部分の断面プロファイルを示す。これらを見ると、凹凸がほぼ対応しており、表面トポロジー像の断面プロファイルにおいて下に凸となっている箇所、すなわち粒界部分においてポテンシャルが低くなっていることが分かる。これより粒界は負に帯電しており、粒界におけるバンド構造は上に凸であることが分かった。これは undoped n-BaSi₂ において観測される粒界におけるバンド構造とは異なっており、不純物である Sb を添加したことで粒内と粒界において相対的なポテンシャル差が生じたためであると考えられる。

【結果】

- [1] K. Morita, ..., T. Suemasu, Thin Solid Films 508 (2006) 363.
[2] K. Toh, ..., T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 068001.
[3] Y. Inomata, ..., T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) L478.
[4] M. Baba, ..., T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 098003.
[5] M. Baba, ..., T. Suemasu, Appl. Phys. Lett. 103 (2013) 142113.

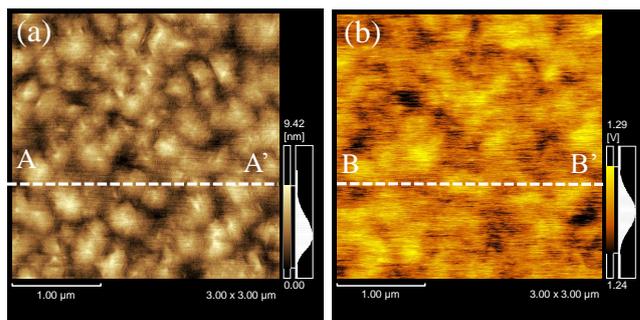


図 1 Sb-doped BaSi₂ の同一箇所における $3 \times 3 \mu\text{m}$ 四方の (a) 表面トポロジー像 (b) 表面ポテンシャル像

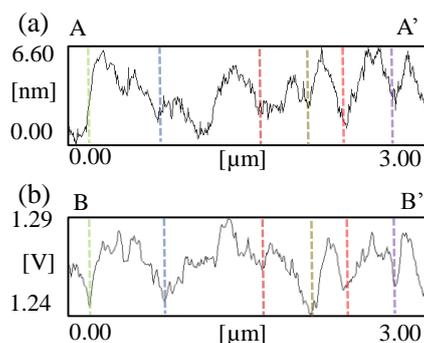


図 2 (a) 表面トポロジー像における断面プロファイル (b) 表面ポテンシャル像における断面プロファイル