

MBE 法による n 型伝導 P-doped BaSi₂ 膜の作製と評価Fabrication and characterizations of P-doped n-type BaSi₂ epitaxial films grown by MBE¹筑波大学院 電子・物理学専攻 ²東北大学 ³JST-CREST°高部 涼太¹, 馬場 正和¹, 中村 航太郎¹, W. Du¹, M. A. Khan¹, 小池 信太郎¹,
都甲 薫¹, 原 康祐², 宇佐美 徳隆^{2,3}, 末益 崇^{1,3}¹Univ. Tsukuba, ²Univ. Tohoku, ³JST-CREST, °R. Takabe¹, M. Baba¹,
K. Nakamura¹, W. Du¹, M. A. Khan¹, S. Koike¹, K. Toko¹, K. Hara², N. Usami^{2,3}, T. Suemasu^{1,3}
E-mail:bk200911087@s.bk.tsukuba.ac.jp

【背景・目的】

我々は、新しい太陽電池材料として、半導体 BaSi₂ に注目している。BaSi₂ は、光吸収係数が結晶 Si の数十倍と大きく、さらに、禁制帯幅が太陽電池の最適値に近い 1.3eV であるため、太陽電池に適した材料といえる[1]。太陽電池を作製するには伝導型制御が必須であり、これまで、Ⅲ、Ⅴ族不純物ドーピングによる BaSi₂ の伝導型制御が試みてきた[2-4]。Ⅴ族元素に関しては Sb で n 型伝導が得られ、電子密度を 10¹⁶ から 10²⁰ cm⁻³ の範囲で制御できている[2]。しかし、他の Ⅴ族不純物については、データが無い。本研究では、BaSi₂ への不純物ドーピングについて体系的に理解することを目指し、他の Ⅴ族元素である P に着目し、これをドーピングすることで BaSi₂ の伝導型制御を目指した。

【実験】

熱反応堆積(RDE)法と分子線エピタキシー(MBE)法を用いて P ドープ BaSi₂ 膜(厚さ約 150 nm)を作製した。また P の供給源としては、制御性の観点から GaP を用いた。高抵抗 p-Si(111)基板(ρ=1000-10000 Ω・cm)上に、RDE 法で 5 分間 BaSi₂ テンプレート層を作製し、その後 MBE 法により R_{Si}=1.2 nm/min, R_{Ba}=3.2 nm/min で 60 分間成長した。このとき、GaP のルツボ温度を 350 °C から 550 °C と変えて P を同時供給し、P-doped BaSi₂ を作製した。また、P の活性化を狙い Ar 雰囲気中で 600 °C または 700 °C で 1 分間の RTA を行った。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、表面構造の評価には原子間力顕微鏡法(AFM)を用いて評価を行った。また、ホール測定により、電気特性の評価も行った。

【結果】

Fig. 1 に θ-2θ X 線回折の結果を示す。このグラフから分かるように、BaSi₂ がエピタキシャル成長していることが分かる。Fig. 2 にホール測定の結果を示す。P をドーピングすることで n 型伝導が得られ、GaP のルツボ温度の上昇に伴い電子密度が 4×10¹⁷ cm⁻³ まで増加した。これは GaP のルツボ温度を上げることで、BaSi₂ 膜中にドーピングされる P の量が増えたためと考えられる。undoped BaSi₂ が電子密度 5×10¹⁵ cm⁻³ であること、GaP のルツボ温度上昇により電子密度が増加したこと、Ga ドープでは電子密度を制御できないことから[4,5]、P はドナー不純物として働いていると考えられる。しかし、P の活性化のための高温 RTA 後には、予想に反し電子密度が低下した。P は高温アニールにより偏析することが知られている[6]。今後、SIMS により P の分布を調査し、この原因を明らかにする。

[1] K. Toh, ..., T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. **50** (2011) 068001.[2] M. Kobayashi, ..., T. Suemasu, Applied Physics Express **1** (2008) 051403.[3] M. Takeishi, ..., T. Suemasu, Physics Procedia **11** (2011) 27-30.[4] K. Morita, ..., T. Suemasu, Thin Solid Film **508** (2006) 363-366.[5] M. Kobayashi, ..., T. Suemasu, Thin Solid Film **515** (2007) 8242-8245.

[6] 原康祐 他, 第 73 回秋季応用物理学会学術講演会 14a-F2-4.

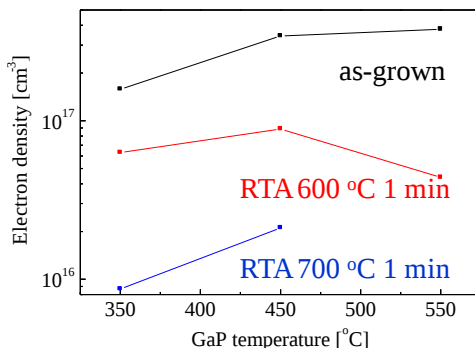
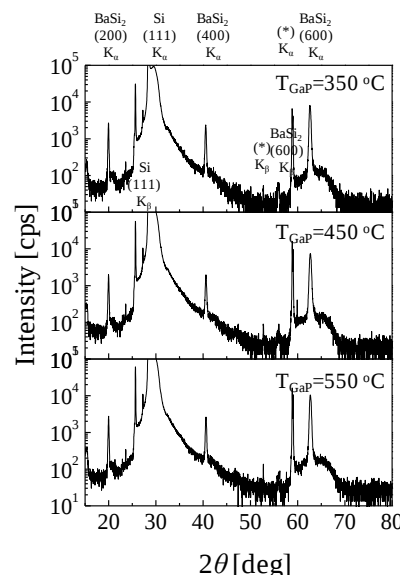
Fig. 2 GaP source temperature dependence of electron concentrations in as-grown and RTA-treated P-doped BaSi₂ films.

Fig. 1 θ-2θ XRD patterns of samples grown with different GaP source temperatures.