

XAFS 法を用いた $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ 混晶半導体中の Sb 占有位置評価

Determination of the Sb Occupation-Site in MOCVD-grown $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ using X-ray Absorption Fine-Structure Measurements

名城大理工¹, 高輝度光科学研究センター² ○宮嶋 孝夫¹, 小森 大資¹, 清木 良麻¹, 伊奈 稔哲², 新田 清文², 鈴木 健太¹, 竹内 哲也¹, 宇留賀朋哉², 上山 智¹, 岩谷 素顕¹, 赤崎 勇¹

Meijo Univ.¹, Japan Synchrotron Radiation Research Inst.²

○Takao Miyajima¹, Daisuke Komori¹, Ryoma Seiki¹, Toshiaki Ina², Kiyofumi Nitta², Kenta Suzuki¹
Tetsuya Takeuchi¹, Tomoya Uruga², Satoshi Kamiyama¹, Motoaki Iwaya¹ and Isamu Akasaki¹

E-mail: mtakao@meijo-u.ac.jp

$\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ は、より低抵抗の p 型結晶を実現する窒化物混晶半導体として期待される。なぜならば、その構成材料である GaSb の価電子帯のエネルギー上端が GaN のものより真空準位に近く (Figure 1 参照)、アクセプターの活性化エネルギーを低減可能だからである。竹内らは、実際に MOCVD 法を用いて $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ 薄膜を成長し、Sb 含有率を高めると X 線回折で求められる平均的な格子定数が広がることを確認している[2,3]。この特性は、Ga-Sb の原子間距離 ($d_{\text{Ga-Sb}}=2.63 \text{ \AA}$) が Ga-N ($d_{\text{Ga-N}}=1.94 \text{ \AA}$) より長いことに起因したものと考えられる。しかしながら、原子間距離の違いが 1.36 倍にも達することから、均一な $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ 混晶半導体を結晶成長することは理論的にも難しいと考えられ、Sb 原子の占有位置を評価することが非常に重要である。そこで、試料中の Sb 原子近傍の局所構造を、X 線吸収微細構造(XAFS)法を用いて評価した。

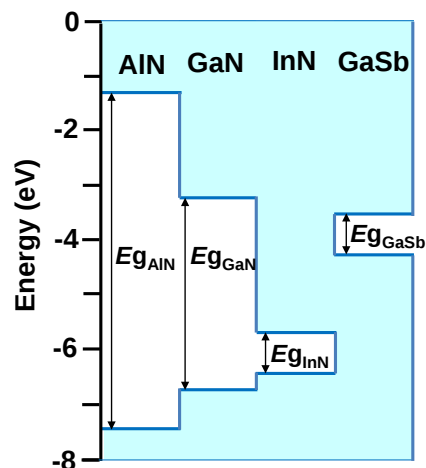


Figure 1: Calculated band line-up of AlN, GaN, InN and GaSb [1]

測定試料は、サファイア基板上に MOCVD 法で成長した $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x(500\text{nm})/\text{GaN}(2\mu\text{m})$ であり、RBS 法により Sb 含有率を、X 線回折により平均的な格子定数を求めている[3]。測定は、大型放射光施設である SPring-8 のビームライン BL01B1 にて行った。

Figure 2 に、測定により得られた Sb 原子近傍の動径分布関数を示した。横軸は Sb 原子からの距離 (r)、縦軸は近接する原子の存在確率に対応する。GaSb の場合は、 $r=2.3\text{ \AA}$ に大きなピークが現れた。この信号は、Sb の第一近接原子として Ga が 4 配位し、Ga-Sb の原子間距離が $d_{\text{Ga-Sb}}=2.63 \text{ \AA}$ であることを示している (r は位相シフトにより d より短くなる[4])。これに対して、 $T=800$ 及び 950°C で成長した $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ の場合は、 $r=1.6$ 及び $3.0 \text{ \AA}$ に信号が得られ、GaSb の場合とは異なった動径分布関数となった。このことから、 $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ 中のほとんどの Sb 原子は、ウルツ鉱構造の理想的な V 族サイトを占有していないと結論される。

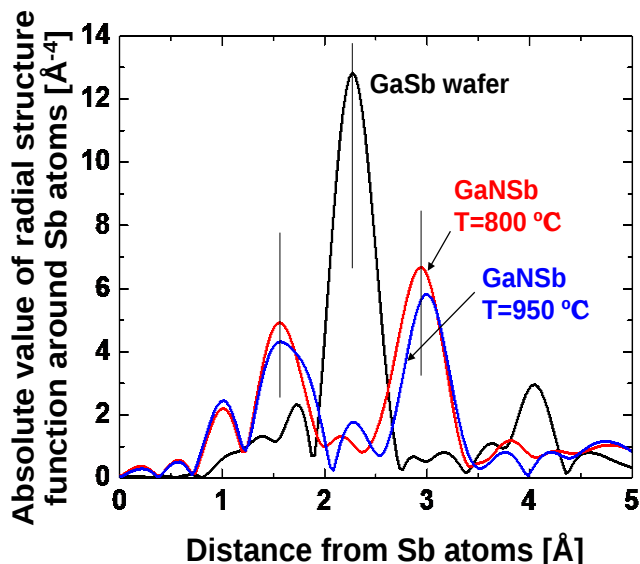


Figure 4: The radial structure functions around Sb atoms in the $\text{GaN}_{1-x}\text{Sb}_x$ grown at $T=800$ and 950°C , and in the GaSb wafer.

標準試料として用いた Sb、 Sb_2O_3 、 Sb_2O_4 、 Sb_2O_5 を提供して下さった日本精鉱株式会社に深く感謝致します。

[1] C. G. Van de Walle et al., Nature **423** (2003) 626.

[2] T. Suzuki, et al, The 10th ICNS, A9.07 (2013).

[3] D. Komori et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55** (2016) 05FD01-1. [4] T. Miyajima et al., phys. stat. sol. (b) **228** (2001) 45.