

低温成長 GaAs_{1-x}Bi_x の分子線エピタキシャル成長条件

Molecular beam epitaxial growth conditions of low-temperature-grown GaAs_{1-x}Bi_x

広大院先端研¹, 愛媛大理工²

○富永 依里子^{1*}, 堀田 行紘¹, 高垣 佑斗¹, 行宗 詳規², 藤原 亮², 石川 史太郎²

AdSM, Hiroshima Univ.¹, Grad. School of Sci. Eng, Ehime Univ.²

○Yoriko Tominaga^{1*}, Yukihiro Horita¹, Yuto Takagaki¹,

Mitsuki Yukimune², Ryo Fujiwara², and Fumitaro Ishikawa²

*E-mail: ytominag@hiroshima-u.ac.jp

1. 研究背景: 低コストかつ省スペースな、実用に即したテラヘルツ (THz) 時間領域分光システムの実現のため、光通信帯光源が利用可能な THz 波発生検出用光伝導アンテナ (PCA) の開発が求められている。我々は、その候補材料として Bi 系 III-V 族半導体混晶に着目している。PCA 用半導体には高抵抗、高移動度、短キャリア寿命という 3 つの特性が求められるが、従来 0.8 μm 帯光源が用いられてきた PCA 用材料の低温成長 GaAs の場合、300 °C 以下の低温成長によって結晶内に取り込まれる過剰 As や Ga 空孔、成長後の 600 °C 程度の熱処理による As 凝集体の形成によってこれらの特性が得られる。そこで本研究では、まず三元混晶 GaAs_{1-x}Bi_x の低温成長を進め、Bi 原子の極端な偏析のない GaAs_{1-x}Bi_x の堆積・成長両条件を見出すことに成功したので報告する。

2. 実験方法: GaAs_{1-x}Bi_x は GaAs(001) 基板上に分子線エピタキシー (MBE) 装置を用いて堆積・成長した。基板温度は 180 °C と 250 °C とした。Ga, As₄, Bi の各フラックス (BEP) はそれぞれ 6.8 - 8.8 × 10⁻⁷ Torr, 1.2 - 6.8 × 10⁻⁶ Torr, 2.1 - 5.5 × 10⁻⁸ Torr の範囲内とした。結晶性評価にはラザフォード後方散乱法 (RBS) および X 線回折 (XRD) 法を用いた。

3. 結果及び考察: 基板温度を 180 °C とし、As₄/Ga BEP 比を 1.4 と 2.1 として成長した試料は、RBS 測定の結果から、Bi 原子が試料表面に偏析していることが判明した。同じ温度で、As₄/Ga フラックス比を 10 とした場合の GaAs_{1-x}Bi_x の RBS スペクトルを図 1 に示す。He イオンを GaAs 基板の [100] 方向に対して入射した場合の Aligned 測定と、Random 測定での Ga, As, Bi 各原子の RBS 信号に差がなく、Bi 原子の信号は平坦な形状になっていることから、この GaAs_{1-x}Bi_x はアモルファスであり、Bi 原子はこの層深さ方向に均一に取り込まれていることを確認した。以下の MBE の分子線強度とイオン化効率の算出式[1]から、Bi が表面に偏析した試料と均一に取り込まれた GaAs_{1-x}Bi_x の As/Ga 供給原子数比はそれぞれ 0.85 以下と 4.0 以上であったことを求めた。

$$J_i = \frac{BEP_i}{BEP_{Ga}} \cdot \frac{\eta_{Ga}}{\eta_i} \sqrt{\frac{T_i m_{Ga}}{T_{Ga} m_i}} \cdot J_{Ga}, \quad \frac{\eta_i}{\eta_{N_2}} = \frac{0.6Z}{14} + 0.4$$

ここで、 i は任意の原子、 η はイオン化効率、 T は分子温度、 m は分子量、 Z は原子番号を表す。更に、後者の条件で基板温度を 250 °C としたところ、GaAs 基板の XRD ピーク近傍に GaAs_{1-x}Bi_x 由来と考えられる干渉フリンジを有した XRD ピークが得られ、単結晶 GaAs_{1-x}Bi_x の成長の可能性が示された。250 °C 以下という低温での GaAs_{1-x}Bi_x における Bi 原子の均一な取り込みにおいて、As/Ga 供給原子数比は 1 以上とする必要性を示唆する結果となった。

謝辞: 本研究は、科学研究費補助金 17K05044、18K14140、19H04548、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 (広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所) の助成および支援によって遂行された。

参考文献: [1] H. Asahi, and Y. Horikoshi, Molecular Beam Epitaxy: Materials and Applications for Electronics and Optoelectronics, Wiley, Chap. 2 (2019).

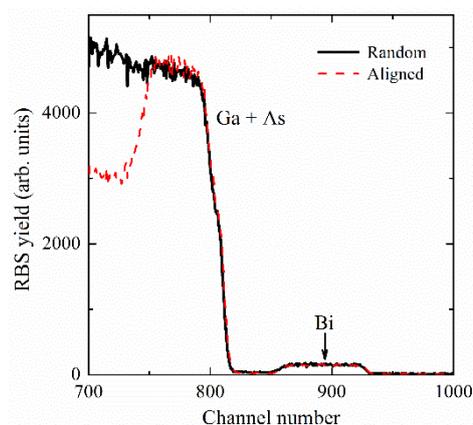


図 1: 180 °C で堆積した GaAs_{1-x}Bi_x の RBS スペクトル。