

放射光その場 X 線回折による InGaAs/InAs/GaAs(111)A 界面のリアルタイム構造解析

Real-time structural analysis of InGaAs/InAs/GaAs(111)A interface

by in situ synchrotron X-ray diffraction

量研機構 [○]佐々木 拓生、高橋 正光 QST [○]Takuo Sasaki, Masamitsu Takahasi

E-mail: sasaki.takuo@qst.go.jp

III-V 族混晶半導体である InGaAs は In と Ga の組成比によって、バンドギャップエネルギーを幅広く制御できる特徴があり、多接合型太陽電池のサブセル材料として注目されている。太陽電池として使用するには、一般的に貫通転位密度が $10^5 /\text{cm}^2$ 以下のひずみ緩和した膜が理想である。したがって、InGaAs 薄膜成長中に起きるひずみ緩和過程を理解することは、太陽電池応用において極めて重要である。筆者らはこれまで、高輝度放射光 X 線と分子線エピタキシャル成長を組み合わせた放射光その場 X 線回折法を駆使して、GaAs(001) 基板上的 InGaAs 薄膜や InGaAs 多層膜のひずみ緩和過程を明らかにしてきた[1-2]。一方、GaAs(111)A 基板は、InAs 薄膜を成長した際に、ヘテロ界面にのみ転位が集中し、貫通転位が発生しにくいなど、GaAs(001) 基板とは異なる特徴が報告されており、貫通転位密度の低減に有効な基板として注目されている[3-4]。そこで本研究は、GaAs(111)A 基板上的 InGaAs 薄膜のひずみ緩和過程を明らかにすることを目的として、放射光その場 X 線回折による InGaAs/InAs/GaAs(111)A 界面の構造解析を行った。

実験は放射光施設 SPring-8、ビームライン BL11XU の分子線エピタキシー装置 - X 線回折計複合システムを用いた。GaAs(111)A 基板の上に 4 原子層 (ML) の InAs 薄膜を成長したのち、 $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ 薄膜の成長中に X 線回折の逆格子マッピング (RSM) を測定した。 $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ の成長温度は 450°C 、成長速度は $0.1\text{ML}/\text{sec}$ である。使用した X 線のエネルギーは 10keV 、ビームサイズは $0.1 \times 0.1 \text{mm}^2$ である。RSM は $a = [1/2, 0, -1/2]_{\text{cubic}}$, $b = [-1/2, 1/2, 0]_{\text{cubic}}$, $c = [1, 1, 1]_{\text{cubic}}$ を単位格子とする六方座標系における GaAs-101 付近を測定した。

RSM の 1 測定にかかる時間は 16 秒で、InGaAs の膜厚に換算すると 0.59nm である。

Fig.1 は GaAs-101 付近の RSM (H-L 面) である。 $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ 薄膜を成長する前は、ひずみ緩和した 4ML 厚の InAs-101 回折ピークが見える。 $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ 薄膜を成長すると、GaAs と InAs の間に $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ からの回折ピークが現れるが、同時に InAs-101 回折ピークが H の高い方向にシフトしているのが分かる。これは、 $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}/\text{InAs}$ 間の格子ひずみが InAs 側の格子変形に寄与するものと考えられ、InAs 薄膜が二次元成長する GaAs(111)A 基板特有の現象と考えられる。

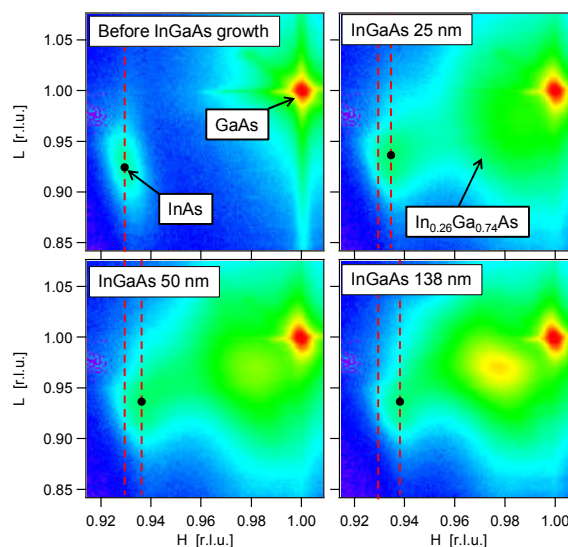


Fig. 1 Typical RSMs during the $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ film growth on 4ML-InAs/GaAs(111)A. The diffraction peak of InAs is shifted to the higher H direction.

- [1] T. Sasaki et al., Appl. Phys. Express **2**, 085501 (2009).
- [2] T. Sasaki et al., J. Cryst. Growth **425**, 13 (2015).
- [3] H. Yamaguchi et al, Appl. Phys. Lett. **69**, 776 (1996).
- [4] T. Mano et al., Cryst. Growth Des. **16**, 5412 (2016).