X 線その場観察法を用いた GaAsSb/GaAs(001)の格子緩和初期における異方性評価

In-situ Observation of Anisotropic Lattice Relaxation Processes of GaAsSb/GaAs(001) Using Synchrotron X-ray

[1] 宮崎大学大学院工学研究科, [2] 量子科学技術研究開発機構
°久保幸士朗 [1], 野川翔太 [1], 河野将大 [1], 佐々木拓生 [2], 高橋正光 [2], 鈴木秀俊 [1]
[1]Univeristy of Miyazaki, [2]National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology
K. Kubo[1], S. Nogawa[1], M. Kawano[1], T. Sasaki[2], M. Takahashi[2], H. Suzuki[1]
Email:hk15015@student.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

III-V 族多接合型太陽電池には、バンドギャップエネルギーを最適化した格子不整合系があるが、歪み緩和に起因した貫通転位の活性層への伝搬が問題となっている。活性層の貫通転位低減のため、傾斜組成バッファ層等の工夫がなされている。転位をより低減させるためには、歪み緩和のメカニズムを理解することが重要となる。特に、III-V 族化合物半導体は、III、V 族の元素を含むことにより歪み緩和過程に異方性が生じる。III、V 族元素が中心に存在する転位をそれぞれ α、β 転位と呼び、それぞれ[110]、[$\bar{1}$10]方向の歪みを緩和させる。これまでに InGaAs/GaAs(001)および GaAsSb/GaAs(001)の歪み緩和過程のその場測定が行われた[1][2]。いずれも α 転位の方がより薄い膜厚で発生すること、また、格子緩和初期の α、β 転位の異方性が成長後の結晶性に影響を及ぼす可能性が示されている。本研究では、格子緩和初期に発生する Bragg 回折ピーク近傍のサテライトピークに注目し、GaAs(001)基板上への GaAsSb 作製時に放射光 X 線を用いて 3 次元逆格子マッピング(Three-Dimensional Reciprocal Space Mapping:3D-RSM)でその場観察することにより、緩和過程初期における転位挙動の異方性を評価した。

2. 実験方法

成長および 3D-RSM 測定は、SPring-8 の BL11XU の分子線エピタキシー(MBE)装置と X 線回折計を直接組み合わせた装置を用いて行った[1]。GaAs(001)基板上に、成長温度を 520、540、560ºC で GaAsSb を成長させた。Ga、As セルの温度は 900、395ºC に固定し、Sb セル温度を 450-460ºC とした。成長速度は、成長温度 520ºCが 0.11 ML/s、その他は 0.085 ML/s とした。成長中に X 線を照射し 004 回折点で測定した。Sb 組成は成長後の XRD 測定によりそれぞれ 5.9、7.5、5.8%と見積もった。

3. 結果と考察

3D-RSM の測定例を図 1 に示す。これは成長温度 520ºC、膜厚 97 nm で緩和過程のごく初期である。GaAs004 回折ピークの下側に GaAsSb の 004Bragg ピークが観察される。転位による Bragg ピークのシフトは発生していないが、近傍の[110]方向と[$\bar{1}$10]方向にミスフィット転位に起因するサテライトピークが観察される[3]。この厚さでは、[110]方向のサテライトピーク強度が、[$\bar{1}$10]方向より強く、α 転位密度が β 転位より大きいことを示している。各方向のサテライトピークの強度変化から、緩和課程初期における転位の異方性の変化を評価した。成長温度 540ºC における GaAsSb 成長中の各方位のサテライトピーク強度の変化を図 2 に示す。α 転位が発生し始めた膜厚(d_α)は 40 nm で、β 転位の発生膜厚(d_β)は 48 nm であった。一方、膜厚 100 nm 時の α 転位起因のサテライトピーク強度(I_α)は β 転位起因ピークの強度(I_β)より大きく、強度比(I_α/I_β)は 3.5 であった。つまり、α 転位が β 転位より約 8 nm 薄い膜厚で発生し、膜厚 100 nm で α 転位の密度が β 転位より約 3.5 倍程度大きいことを示している。

各成長温度での d_α、d_β および I_α/I_β を表 1 に示す。全試料で α 転位が先行している。各試料で転位発生膜厚および強度比が異なるが、組成や成長温度による系統的な変化は見られなかった。しかし、各方位での転位発生膜厚の差($d_\alpha - d_\beta$)を考えると、I_α/I_β の間に正の相関が得られた。これは $d_\alpha - d_\beta$ の差により α 転位が β 転位に阻害されず発生することで、その後の α、β 転位の密度に差が出たと考えられる。

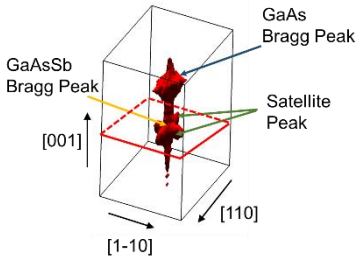

Fig.1 Typical 3D-RSM around 004 of GaAsSb grown on GaAs(001).

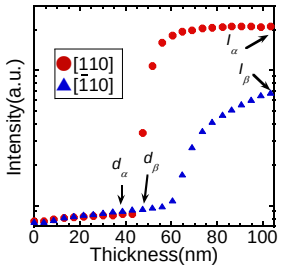

Fig.2 Relationship between film thickness of GaAsSb and intensities of satellite peaks along [110] and [$\bar{1}$10].

Table 1 Summary of the thicknesses for α and β dislocation formation, and ratios of the intensity of α dislocation to that of β.

T_g (ºC)	520	540	560
Sb組成(%)	5.9	7.5	5.8
d_α(nm)	56.7	39.7	42.2
d_β(nm)	62.4	48.4	46.6
$d_\alpha - d_\beta$(nm)	5.7	8.7	4.4
I_α/I_β	2.5	3.5	1.3

4. 参考文献

[1] H. Suzuki, *et al*, Appl. Phys. Lett. 97, 041906 (2010)
[2] M.Yuuki, *et al*, 2018 年応用物理学会秋季学術講演会
[3] V.M. Kaganer, *et al*, Phys. Rev. B **55**,1793(1997)