

課題番号 : 2014B-E01  
 利用課題名 (日本語) : 放射光 X 線を用いた太陽電池用 III-V 族化合物半導体のリアルタイム構造解析  
 Program Title (English) : Real-Time Structural Analysis of III-V Semiconductor for Solar Cells by X-ray Diffraction  
 利用者名 (日本語) : 大下祥雄<sup>1)</sup>, 鈴木秀俊<sup>2)</sup>, 高橋正光<sup>3)</sup>, 佐々木拓生<sup>3)</sup>, 神谷至<sup>1)</sup>, 池田和磨<sup>1)</sup>  
 Username (English) : Y. Ohshita<sup>1)</sup>, H. Suzuki<sup>2)</sup>, M. Takahashi<sup>3)</sup> T. Sasaki<sup>3)</sup>, I. Kamiya<sup>1)</sup>, K. Ikeda<sup>1)</sup>  
 所属名 (日本語) : 1) 豊田工業大学, 2) 宮崎大学, 3) 日本原子力研究開発機構  
 Affiliation (English) : 1) Toyota Technological Institute, 2) Miyazaki University, 3) Japan Atomic Energy Agency  
 キーワード : その場観察、太陽電池

## 1. 概要 (Summary)

化合物半導体を用いた歪系多接合太陽電池において高い変換効率を得るには、活性層中に存在する貫通転移密度を低減させることが必要である。それら転位密度をより低減するには、引っ張り歪層と圧縮歪を有する層を積層した上で系全体における歪制御を行うオーバーシューティングバッファ構造の採用が検討されている。この構造により、バッファ層への転位のとじ込めを効果的に行う事が期待されている。しかし、これまでは、本バッファ層の構造は経験的に決められており、転位低減効果が最大限に得られる構造が得られるまでには至っていない。歪緩和に伴い発生する貫通転移を  $10^5 \text{ cm}^{-2}$  以下に抑制し、期待される高い変換効率を得るには、従来の圧縮歪条件における応力緩和過程に加え、引張歪条件下における転位の生成消滅過程を理解し、さらには得られた知見をもとに転移低減のための最適構造を探索することが必要である。これまでは、引っ張り応力下における歪緩和過程とそれに伴う転移挙動に関して研究を進めてきた。本実験では、基板として InP を使用し、その上に格子定数の小さい InGaAs を成長させた。これにより、成長層である InGaAs 膜には引っ張り歪が発生する。このようにして、引っ張り歪条件下での歪緩和過程と転位挙動を明らかにする事を目的とした。

## 2. 実験(目的,方法) (Experimental)

実験は BL11XU において行った。具体的には、本ビームラインにおける分子線エピタキシー (MBE) 装置を使用して製膜を行い、その時の X 線回折像をその場観察した。使用した基板は InP (001) 基板である。超高真空化での加熱処理により InP 基板表面を清浄化した。その後、本基板上に In, Ga, As を独立に供給し InGaAs 薄膜を成膜させた。この時の In 組成は 45% として、 $\text{In}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$  薄膜を 500nm 成長させた。成長温度は  $500^\circ\text{C}$  であり、成長速度は  $0.22 \text{ ML/sec}$  とした。InGaAs の成膜中に成長層に X 線を照射し、そこからの 004 あるいは 022 回折点近傍の 3 次元逆格子像を得た。022 回折測定から得られる格子不整合転位の伝搬方向である [110] および [-110] の面内 2 方向の情報、[001] 回折から得られる基板垂直

方向の情報から、格子定数(残留歪)および転位に起因した結晶性を同時に評価した。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

022 非対称反射逆格子マッピング測定の結果から、 $\text{In}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$  薄膜の緩和率  $R$  を以下のパラメータを用いて求めた。 $a_{\text{InGaAs}}^r$ : 完全緩和した時の InGaAs 薄膜の格子定数、 $a_{\text{InP}}$ : InP 基板の格子定数、 $Q_x$ : InGaAs のピーク座標、 $a_{\text{InGaAs}}^r$ : 固溶体の組成と格子定数の関係を表す式であるベガード則を用いて求めた圧縮歪条件における緩和率。これらの値から緩和率  $R$  の値を求めた結果、引張歪条件では歪緩和率は [-110] 方向, [110] 方向ともに 2.2% の低い値が得られた。引張歪条件の歪緩和過程では、どの膜厚においても [110] 方向の FWHM の値が [-110] 方向の値より大きくなった。FWHM が大きいほど、転位密度高いことを意味する。化合物半導体においては、結晶構造において直交関係にある先の 2 方向において滑り面を構成する元素が Ga あるいは As と異なる。本構造の違いにより、それぞれの方向の転移は  $\alpha$  転移および  $\beta$  転移と呼ばれている。本結果は  $\alpha$  転位の生成速度が  $\beta$  転位の生成速度よりも大きいことを示唆している。

## 4. その他・特記事項 (Others)

本研究の一部は NEDO の支援のもと実施された。関係者各位に感謝する。