

(様式第5号)

逆格子マッピング測定を用いた、格子不整合 InGaAs 太陽電池の 転位滑り面の面内分布異方性の観察

Observation of in-plane distribution of dislocation glide planes in lattice-mismatched InGaAs solar cells using reciprocal lattice mapping

鈴木秀俊 平川翔太

Hidetoshi Suzuki, Shota Hirakawa

宮崎大学 工学部

Faculty of Engineering, University of Miyazaki

- ※1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後 2 年以内に研究成果公開（論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表）が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より 1 人以上）。

1. 概要（注：結論を含めて下さい）

GaAs 基板上に作製された 1cm 角の格子不整合 InGaAs 太陽電池中の転位滑り面の面内分布を、ビームを絞った X 線を用いて試料上 7x7 の点で三次元逆格子測定を行うことで評価した。GaAs の(004)面に対する InGaAs の(004)面の傾斜方向が異なる領域が大きく 2 つに分かれていることが見出された。貫通転位低減のため導入されている傾斜組成 InGaP バッファ層からの信号も得られており、今後の解析によりどの層から支配的な滑り面が変化したかの知見が得られると期待される。

(English)

Three-dimensional reciprocal space mapping on a 1 cm square lattice-mismatched InGaAs solar cell grown on a GaAs substrate was performed using X-ray diffraction at 7x7 points to investigate the in-plane distribution of dislocation glide planes. It was found that there are two major regions that had different dominant glide planes. Diffraction signals were also obtained from InGaP-graded buffer layers introduced between the InGaAs active layer and the GaAs substrate. Future analyses will investigate where the dominant glide planes were changed in buffer layers.

2. 背景と目的

III-V 族化合物半導体のエピタキシャル薄膜を利用した多接合型太陽電池は 40%を超える超高効率が可能であることから、宇宙用や集光型での利用が行われている。ここで、太陽光に対して最適なバンドギャップエネルギーを持つ半導体材料を組み合わせるため、格子不整合材料の積層が行われている。この際、歪み緩和のための格子不整合転位と、それに付随した貫通転位の発生が問題となり、様々なバッファ層を複数導入することによりデバイス層の貫通転位密度の低減が図られている。本研

究で注目したい点は、1枚の半導体ウェハ上にバッファ層を用いて格子不整合材料の積層を行なった際に、ウェハの場所毎に転位分布と特性にばらつきが現れる点である。これまでの研究により、特性が悪い太陽電池では、格子不整合転位の滑り面の偏りが面内で異なることがわかっている[1,2]。滑り面の偏りは、X線回折法により測定が可能であるが、大学所有の装置ではX線強度が弱く、X線ビームサイズを絞って太陽電池面内の偏り分布を測定するには時間がかかる。また、基板と太陽電池層の間に導入されたバッファ層からの回折を検出することができない。

そこで本研究では、輝度の高い放射光を用いたX線回折法を用い、同一ウェハ上に作製された複数の格子不整合 InGaAs/GaAs 太陽電池の転位滑り面の、セル面内および各バッファ層での偏り分布と評価を目的としている。本トライアル課題では、複数の太陽電池を評価する前段階として、宮崎大学所有の装置で評価を行った InGaAs 太陽電池の評価を行い、測定時間と分解能の見積もり、バッファ層からの回折強度の確認を目的とした。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

本研究では、GaAs基板上に作製された1 cm²角のInGaAs太陽電池に関して、面内の7x7の49箇所での004逆格子点近傍の三次元逆格子マッピング測定を行い、試料の詳細構造は転位滑り面の面内分布評価を試みた。基板とInGaAs層の間には貫通転位低減のためInGaP傾斜組成バッファ層とオーバーシユエーティング層が挿入されている。試料構造の詳細は他の文献にまとめてある[3,4]。なお、測定した太陽電池試料は、同一基板上に同時に成膜し作製された太陽電池の中で比較的特性が悪く、面内の転位滑り面の偏り分布が期待される物を選択した。入射スリットにより試料に照射されるX線を2 x 2 mm²とした。X線のエネルギーを15 keV、検出器角度(2θ)は34.02°であった。試料ステージのxおよびy方向位置を調整することによって試料に対するX線照射位置を変更し、面内7x7箇所での逆格子マッピング測定を行なった。図1に測定した太陽電池の写真と結晶方位、X線の入射方向を示す。検出機は二次元X線検出器(Pilatus)を使用し、1測定点あたり、X線入射角度(ω)を14.50°から16.05°まで0.01°ずつ変化させて156枚の二次元X線回折パターンを取得した。得られた二次元回折パターンから座標変換を行い、三次元逆格子図を作製した。

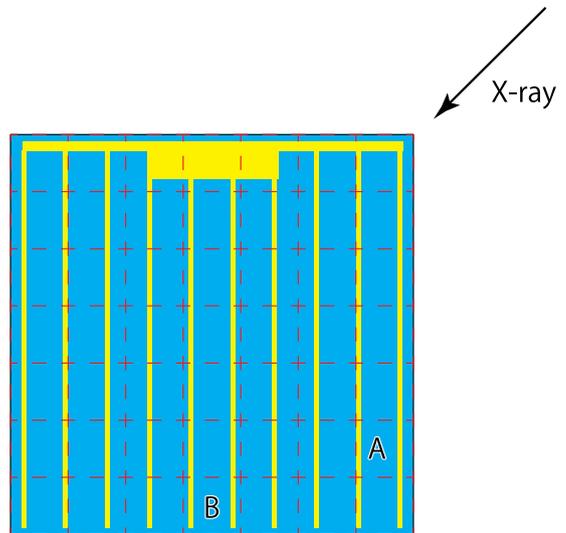


図1 測定した InGaAs 太陽電池の模式図。A,B は図 2,3 に示す逆格子図の測定箇所である。

4. 実験結果と考察

太陽電池面内の異なる箇所で測定された三次元逆格子図の例を図2および3に示す。(a)は俯瞰図、(b)と(c)はそれぞれ $[\bar{1}10]$ と $[110]$ 方向への投影図である。 $[\bar{1}10]$ 方向への投影図では、どちらの箇所でも GaAs 基板の回折ピークに比べて InGaAs ピークは左下方向に見えている。一方で、 $[110]$ 方向への投影図では GaAs 基板のピークに対して InGaAs ピーク位置の変化が見られる。これは、 $[110]$ 方向の傾斜を発生させる α 転位の滑り面がどちらの測定箇所においても揃っているのに対して、 $[\bar{1}10]$ 方向を傾斜させる β 転位の滑り面がセル面内の場所ごとで異なっていることを示している。評価を行った InGaAs 太陽電池全体の $[\bar{1}10]$ 方向の InGaAs ピーク位置の面内分布を図4に示す。面内で転位滑り面が異なる領域機が大きく二つに分かれていることが見て取れる。これらの傾向は宮崎大学内の

X線回折装置で測定した結果[2]と同様であるが、1/10~1/20の時間で測定できている。また、InGaP傾斜組成バッファ層からの回折信号も評価に十分な強度で得られていた。今後の解析によりどの層から支配的な滑り面が変化したかの知見が得られると期待される。

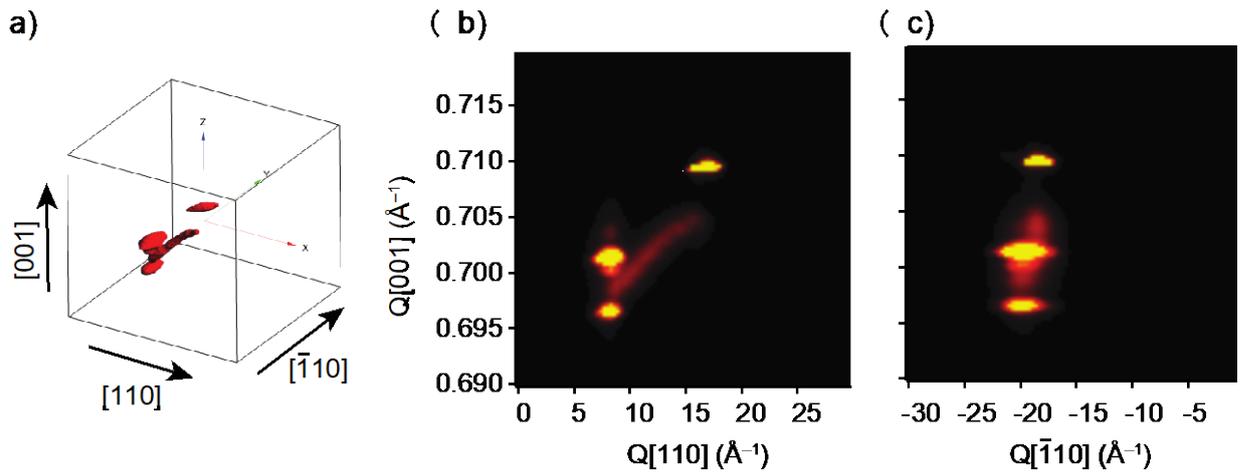


図2 図1に示したInGaAs太陽電池A点の(a) 三次元逆格子俯瞰図、(b) $[\bar{1}10]$ 方向への投影図、(c) $[110]$ 方向への投影図。

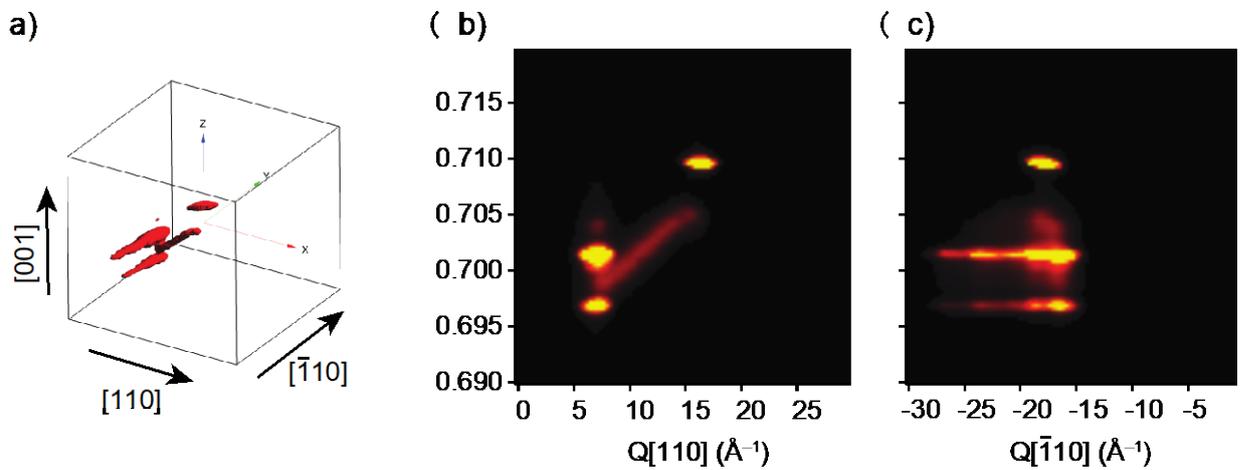


図3 図1に示したInGaAs太陽電池B点の(a) 三次元逆格子俯瞰図、(b) $[\bar{1}10]$ 方向への投影図、(c) $[110]$ 方向への投影図。

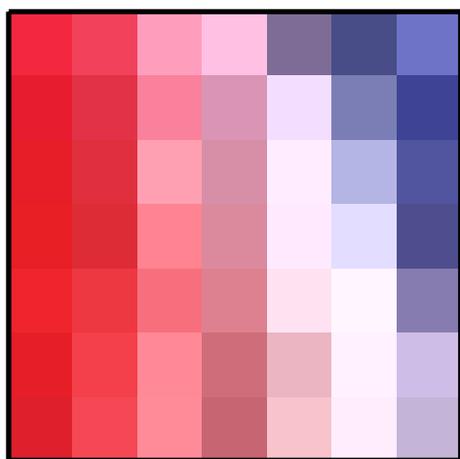


図4 InGaAs太陽電池の7x7箇所測定した三次元逆格子図より得られた、InGaAsの $[\bar{1}10]$ 方向のピーク位置の太陽電池面内分布。

5. 今後の課題

今回のトライアル利用により、シンクロトロン光を利用した測定により高速で太陽電池面内の転位滑り面の偏り評価が可能であることが確認できた。今回は1試料しか測定していないため、太陽電池

特性に対して転位滑り面の面内分布が与える影響を明らかにすることはできていない。今後複数の太陽電池試料に対して同様の測定を行い、電気特性と面内分布を比較することが必要である。また、バッファ層の変化を詳細に観察することにより、太陽電池層の転位滑り面の偏りがどこから発生するかを明らかにする必要がある。

6. 参考文献

- (1) “Inhomogeneous in-plane distribution of preferential glide planes of β dislocations in a metamorphic InGaAs solar cell”, A. Ogura, H. Suzuki, et al., Appl. Phys. Express., **14**, 011001 (2021).
- (2) “Relationships between the distribution of dislocation glide planes and electrical properties of lattice-mismatched InGaAs solar cells”, J. Okubo, H. Suzuki, et al., PVSEC-33, TuP-32-52. (2022, 11月)
- (3) “Correlation between the Distributions of the Preferential Glide Plane and the Electrical characteristics in InGaAs Single-Junction Solar Cells”, A. Ogura, H. Suzuki, M. Imaizumi, DRIP-XIX, TuP-21 (2022, 9月発表)
- (4) “Correlation between open-circuit voltages and preferential glide planes of misfit dislocations of metamorphic InGaAs single junction solar cells grown on GaAs”, A. Ogura, H. Suzuki, M. Imaizumi, J. Cryst. Growth, **533**, 125432 (2020).

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

トライアル課題のため、まだ論文発表等は予定していない。
以降の課題による結果を合わせての論文化を計画している。

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を2~3)

多接合太陽電池、逆格子マッピング、転位

9. 研究成果公開について (注: ※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2018年度実施課題は2020年度末が期限となります)。長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文(査読付)発表の報告 (報告時期: 2024年 10月)