

(様式第 5 号)

X 線トポグラフィ法を用いた GaP/Si(001)中の貫通転位分布の観察 Observation of threading dislocation in GaP/Si by X-ray topography

池田和磨¹⁾, 鈴木秀俊²⁾, 小寺大介¹⁾
Kazuma Ikeda¹⁾, Hidetoshi Suzuki²⁾, Daisuke Kodera¹⁾

¹⁾豊田工業大学, ²⁾宮崎大学 電子物理工学科
¹⁾Toyota Technological Institute,

²⁾Department of Applied Physics and Engineering, University of Miyazaki

1. 概要

GaP/Si(001) 2° off [110] におけるミスフィット転位を X 線トポグラフィ法により観察し, 貫通転位密度を推定した. GaP 膜厚が 150 nm, 70 nm の 2 種類の GaP/Si 試料に対し, 単色 X 線源による(224)反射トポグラフィ測定を行った. その結果, 基板面傾斜方向に沿った長さ 200~500 μm の複数の線分状のコントラストが観察された. このコントラストをミスフィット転位の転位線と見做し, ミスフィット転位の面密度を 10² cm⁻² と求めた. また, これらの転位線の端点を起点に貫通転位が存在するとして, その貫通転位の密度もまた 10² cm⁻² と推測した.

(English)

The threading dislocation density in GaP/Si(001) 2° off [110] is estimated from the observation of misfit dislocations by X-ray topography. The topography images of (224) reflection with a monochromatic light is obtained for GaP/Si samples with the thicknesses of GaP of 150, 70 nm. Line-shaped contrasts with the widths of 200-500 μm are observed. Those are attributed to misfit dislocations along the tilt direction of the (100) surface. The density of those misfit dislocations is estimated to be 10² cm⁻². Assuming that all edges of the misfit dislocations are connected to threading dislocations, the density of the threading dislocations are estimated to be 10² cm⁻².

2. 背景と目的

近年, Si 太陽電池の変換効率が理論限界に達しつつあり, 更なる高効率化を実現する方法が模索されている. III-V/Si 多接合太陽電池は, Si 太陽電池を上回る変換効率を比較的低コストで得られることが期待される. InGaP は組成を変えることにより, 太陽光スペクトル強度の強い領域を含む 1.4~2.2 eV の領域でバンドギャップを調整することができる. したがって異なる組成の InGaP 層を複数用いることにより, 効果的に太陽光を吸収することができる. III-V/Si 多接合太陽電池における問題はヘテロ接合による電気特性の劣化である. ヘテロ界面では格子不整合転位が生じ, これを起点として貫通転位が生じる. 貫通転位密度が 10⁶ ~10⁷ cm⁻² 以上のとき, 少数キャリア寿命が大きく低下することが知られており, これが太陽電池の電気特性の劣化の要因と考えられる [1]. 貫通転位密度を 10⁵ cm⁻² 以下に抑えることが, 高品質 III-V/Si 接合を得る一つの目安となる.

貫通転位の電気特性への影響を抑えるためには, バッファ層の利用が有効である. 組成傾斜バッファ構造は, 膜厚とともに格子歪や緩和率を変えることで, 貫通転位の上層への伝搬を制御することができる. III-V/Si における組成傾斜バッファ構造の第一層では, Si に格子定数の近い GaP を用いて, 極性/無極性接合特有の双晶等の問題を分離し, 上層のバッファ構造における問題の単純化を図ることが有効である. そのためには, Si 基板上に貫通転位密度の低い高品質な GaP 薄膜を作製する必要がある.

そこで本研究では, Si 基板上に成長した 100 nm 程度の薄い膜厚の GaP 層の貫通転位密度を推定することを目的として, 放射光を用いた X 線トポグラフィ測定を行った.

3. 実験内容 (試料, 実験方法, 解析方法の説明)

2枚の GaP/Si, 1枚の GaP 基板の計3枚の基板を測定試料として用いた. GaP/Si 試料における Si 基板面は [110] 方向に 2° 傾斜し, GaP 層の膜厚はそれぞれ 150, 70 nm であった. X線トポグラフィ測定のアライメント調整のため, 光源に白色 X 線, 検出器にイメージングプレートを用いてラウエ斑点を測定し, 試料および検出器を (224) 回折点位置に調整した. 次にモノクロメータを用いて X 線を単色化し, 検出器にX線フィルムを用いて単色 X 線トポグラフィ測定を行った.

4. 実験結果と考察

150 nm 厚の GaP 層の単色 X 線トポグラフィ像を図 1 に示す. 図 1 に見られるように, 基板面傾斜方向である [110] に沿って, 長さ 200~500 μm の線状のコントラストが観察された. これらのコントラストは, Si 基板との界面に存在するミスフィット転位の転位線を示すと考えられる. この GaP 層の X 線トポグラフィ像において, 任意に選んだ $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ の面積に含まれる転位線は 24 個であった. また, 70 nm 厚の GaP 層の単色 X 線トポグラフィ像においても同様の転位線が観察され, その数は適当な $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ の面積において 14 個であった. したがって, 長さ 200~500 μm のミスフィット転位の密度は, 150 nm, 70 nm の GaP 層を持つ 2 つの GaP/Si(001) 試料において, いずれも 10^2 cm^{-2} 程度であると推測した. 転位線は結晶内部で終端しないとし, これらの転位線の端点から更に基板面の垂直方向に転位線が延びるとすると, このようなミスフィット転位に起因する貫通転位の密度も 10^2 cm^{-2} のオーダーであると考えられる. GaP/Si(001) の臨界膜厚はおよそ 90 nm と報告されており[2], 用いた 2 つの試料 (GaP 膜厚 150 nm, 70 nm) は臨界膜厚前後の GaP 膜厚を持つ. しかし, 2 つの試料においてミスフィット転位密度に大きな差は見られなかった. 転位の生成は基板表面状態を始め, 結晶成長条件に影響されると考えられる. 図 1 における粒子状のコントラストは, Si 基板のトポグラフィ像においても同様に観察されたため, Si 基板表面の形状に由来するものと考えられる.

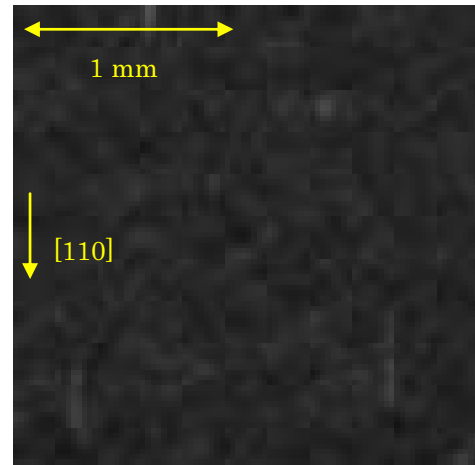


図 1. GaP/Si(001) における GaP 層の X 線トポグラフィ像. GaP 層の膜厚は 150 nm, Si(001)基板面の傾斜方向 [110], 傾斜角は 2° である.

5. 今後の課題

Si 基板の面傾斜方向, 角度等を変えたときのミスフィット転位の向き, 密度等の変化を調べることで, ミスフィット転位の特性を理解するとともに, 転位線の判別精度の向上を行う必要がある. また, 粒子状コントラストを低減することも, 転位線の判別精度の向上に繋がる. 粒子状コントラストは, Si 基板の表面処理方法の改善により低減できる可能性がある. コントラストの形状の違いによる転位の分類を詳細に行う必要がある. GaP/Si の太陽電池応用のためには, InGaP/GaP/Si 組成傾斜構造を用いて貫通転位密度の制御方法の模索を行う.

6. 参考文献

- [1] M. Yamaguchi and C. Amano, J. Appl. Phys. **58**, 3601 (1985).
- [2] T. Soga, T. Jimbo, and M. Umeno, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, L767 (1993).

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) なし

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) GaP/Si, X 線トポグラフィ, 貫通転位

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 (2013 年度実施課題は 2015 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。

② 研究成果公報の原稿提出

(提出時期: 2014 年 12 月)