

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Si母材中自己組織化Ge量子ドットの作製と太陽電池応用
Title(English)	Fabrication of Self-organized Ge Quantum Dot in Si Matrix and its Application to Solar Cells
著者(和文)	後藤和泰
Author(English)	Kazuhiro Gotoh
出典(和文)	学位:博士（工学）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10180号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:近藤 道雄,小田原 修,吉本 護,和田 裕之,半那 純一
Citation(English)	Degree;, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10180号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	後藤 和泰		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	近藤 道雄	教授	審査員	和田 裕之	准教授
	審査員	小田原 修	教授			
		吉本 護	教授			
		半那 純一	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Fabrication of Self-organized Ge Quantum Dot in Si Matrix and its Application to Solar Cells」(Si 母材中自己組織化 Ge 量子ドットの作製と太陽電池応用)と題して英語で書かれ、全 8 章から構成されている。

第 1 章 “General Introduction”では、本研究の背景および意義を述べている。高効率が期待される量子ドットを用いた中間バンド型太陽電池における要件として、面内の高均一かつ高密度で、面垂直方向への積層化と近接化が必要であることを述べると同時に、タイプ II 型超構造によってキャリア収集効率の向上が狙える Ge/Si 量子ドットの作製と太陽電池応用を目的とすることを述べている。

第 2 章 “Experimental”では、試料の作製に用いた装置、加えて試料作製の手順と試料構造について述べている。自己形成 Ge/Si 量子ドットを作製するために用いた固体ソース分子線エピタキシー装置や、試料の構造特性や光学特性を調べるために用いた評価装置である原子間力顕微鏡、走査型透過電子顕微鏡、フォトルミネッセンスの測定原理、試料の作製手順などについて説明している。

第 3 章 “Single Layer Ge QDs on Si”では、太陽電池における量子ドットでの光子の吸収を増大させるための単層の Si(001)基板上の Ge 量子ドットの面内の高均一化と高密度化に関する実験について述べている。成長温度 500 °C かつ堆積速度 0.28nm/s を用いることにより、サイズが約 30 nm、面密度 $\sim 5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ の高密度かつサイズ揺らぎ 11%の高均一な Ge 量子ドットが初めて得られたことを示している。この要因として低温、高速堆積速度による表面マイグレーションの抑制と多核生成の結果、高密度化と高均一化されたと考察している。

第 4 章 “Multi-stacked Ge QDs in Si Matrix”では、Si 中間層を介した Ge 量子ドット層の積層化に関する実験について述べている。0.28nm/s の高速堆積速度と 5 秒間の成長中断から成る新規成長法を用いることにより、中間層膜厚 30 nm では構造特性の顕著な変化がなく、結晶品質が保たれた Ge 量子ドット層を 100 層まで積層することができたことを示している。さらに量子ドット間の電気的結合を狙って Si 中間層の薄膜化にも取り組み、20 層積層 Ge/Si 量子ドットでは、中間層膜厚の減少と共に Ge 量子ドットサイズが増大し密度が減少し、中間層膜厚 6 nm において Ge の凝集体が発生することを見出している。この原因として、中間層が薄くなると歪み場の重ね合わせによる局所的な歪み場が発生し、Ge 量子ドットのサイズの増大、凝集が生じたと考察している。20 層積層 Ge/Si 試料においてはタイプ II 型ヘテロ構造に特徴的な PL ピークエネルギーが励起光強度の 3 乗根に比例することを見出している。

第 5 章 “Ge QDs in Si_{1-x}C_x Matrix for Strain Compensation”では、Si_{1-x}C_x を中間層に用いた歪み補償法について述べている。20 層積層 Ge/Si_{0.9995}C_{0.0005} 量子ドットにおいて、中間層膜厚 6 nm まで薄膜化しても Ge の凝集体の発生が抑制できることを見出している。この要因として、弱化した歪み場と Si_{0.9995}C_{0.0005} 中間層による歪み補償効果によるものと考察している。また、中間層膜厚 6 nm においてはミニバンドの形成の可能性を述べている。

第 6 章 “Application of Multi-stacked Ge QDs to solar cells”では、作製した積層 Ge 量子ドットの太陽電池への応用について述べている。100 層積層 Ge/Si 量子ドット太陽電池において、外部量子効率 (EQE) の感度が 1300 nm 程度まで長波長化した。一方 300-800 nm における EQE 感度は減少したことを見出している。EQE の現象については Ge 量子ドット層によるホール輸送の障害と再結合の増大が起こったためと考察している。Ge/Si_{0.9995}C_{0.0005} 量子ドット太陽電池では、Ge/Si 量子ドット太陽電池と比較して、キャリアの輸送が改善され、再結合がわずかに抑制されたことを見出している。

第 7 章 “General Discussion”では、本研究で得られた結果を基に自己形成 Ge 量子ドットの作製と Ge 量子ドット太陽電池に関する総合的な考察について述べている。

第 8 章 “General Conclusion”では、本研究で得られた結果と考察を基に本研究で得られた成果についてその総括を述べている。

以上を要するに、本論文は Si マトリックス中に高密度かつ高均一な Ge 量子ドットを 100 層まで多層化して作製する技術を世界で初めて確立し、その量子ドット多層膜を実際の太陽電池に適用し、その有効性を検証したことは次世代の高効率な太陽電池の実現可能性を広げたものとして工学的な貢献が大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値を持つものと認められる。