

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) | 論文要旨 |
| Type(English) | Summary |

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | |
|-------------------------|--------|----|--|----------------------|
| 専攻： Department of | 物質科学創造 | 専攻 | 申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested | 博士 (工学) Doctor of |
| 学生氏名： Student's Name | 後藤 和泰 | | 指導教員 (主)： Academic Advisor(main) | 近藤 道雄 |
| | | | 指導教員 (副)： Academic Advisor(sub) | 小田原 修 |

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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が述べられている。高効率の可能性を有する量子ドットを用いた中間バンド型太陽電池を目指し、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自己形成 Ge/Si 量子ドット系に対して、面内で高均一高密度な量子ドットの形成、面垂直方向への量子ドット層の積層化と近接化、その太陽電池への応用という本研究の目的が述べられている。

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が述べられている。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ビタキシー装置や、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、そして試料の作製手順などについての説明がなされている。

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に、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研究について述べられている。成長温度 500 °C かつ堆積速度 0.28 nm/s を用いることにより、サイズが約 30 nm、面密度が従来より一桁高い $\sim 5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ の高密度かつサイズ揺らぎ 11% の高均一な Ge 量子ドットが得られたことが示されている。これは低温による Ge アドアトムのホッピングに必要なエネルギーの供給の減少、高速堆積速度によるホッピングサイトの占有により、表面マイグレーションが抑制され、多核生成が起きたことで高密度化と高均一化が実現されたと考察されている。

第 4 章 “Multi-stacked Ge QDs in Si Matrix”では、Si 中間層を用いた Ge 量子ドット層の積層化に関する研究について述べられている。0.28 nm/s の高速堆積速度と 5 秒間の成長中断から成るパルス成長法を用いることにより、中間層膜厚 30 nm では 100 層まで結晶品質を維持していることが示されている。作製した 20 層積層 Ge/Si 試料は、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が見出されている。中間層膜厚を 10 nm 以下とすると Ge 量子ドットサイズの増大と量子ドットの凝集が起こることが示されている。これは中間層薄膜化と歪み場の重ね合わせによる局所的な歪み場の増大により生じたものと考察されている。

第 5 章 “Ge QDs in $\text{Si}_{1-x}\text{C}_x$ Matrix for Strain Compensation”では、中間層の薄膜化による歪み場の発生を補償するための $\text{Si}_{1-x}\text{C}_x$ を中間層に用いた積層 Ge 量子ドットの作製について述べられている。この方法により 20 層積層 Ge/ $\text{Si}_{0.9995}\text{C}_{0.0005}$ 量子ドットにおいて、中間層膜厚 6 nm まで Ge の凝集体の発生は抑制できることが示されている。また、光学測定から作製した Ge/ $\text{Si}_{0.9995}\text{C}_{0.0005}$ 量子ドットはタイプ II 型構造を示し、中間層膜厚 6 nm においてはミニバンドの形成を示唆する結果が得られている。

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られている。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) の感度の 1300 nm 程度までの長波長化と 300-800 nm における EQE 感度の減少が見出されている。これは、Ge 量子ドット層によるホールの輸送の阻害と再結合の増大が起こったためと解釈されている。一方、Ge/ $\text{Si}_{0.9995}\text{C}_{0.0005}$ 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特性が向上したことが見出されたが、この結果は、ミニバンドの形成によってキャリアの輸送が改善され、再結合が抑制された結果によるものと考察されている。

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して議論されている。

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の総括が述べられている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | | |
|--------------------------|--------|----|--|---------|-----------|
| 専攻 : Department of | 物質科学創造 | 専攻 | 申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested | 博士 (工学) | Doctor of |
| 学生氏名 : Student's Name | 後藤 和泰 | | 指導教員 (主) : Academic Advisor(main) | 近藤 道雄 | |
| | | | 指導教員 (副) : Academic Advisor(sub) | 小田原 修 | |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Title of this thesis is "Fabrication of Self-organized Ge Quantum Dot in Si Matrix and its Application to Solar Cells". This dissertation consists of 8 chapters.

In the first chapter, "General Introduction", backgrounds and objective of this study are described. Solar cells using quantum dots (QDs) are much attractive due to potentially high conversion efficiency. In this thesis, self-organized Ge QDs in silicon matrix were focused on because of the advantage of higher carrier collection efficiency.

In the second chapter, "Experimental", equipment and methods for fabrication and characterization of Ge QDs are described.

In the third chapter, "Single Layer Ge QDs on Si", fabrication of single layer Ge QDs on Si(001) are described. Dense and uniform Ge QDs were obtained at 500 °C and higher deposition rate of 2.8 Å/s due to suppression of migration of Ge adatoms.

In the fourth chapter, "Multi-stacked Ge QDs in Si Matrix", fabrication of multi-stacked Ge/Si QDs is described. Ge QDs with 30 nm-thick Si spacer layer were stacked up to 100-layers without significant change in size and deterioration of crystal quality.

In the fifth chapter, "Ge QDs in $\text{Si}_{1-x}\text{C}_x$ Matrix for Strain Compensation", fabrication of multi-stacked Ge/ $\text{Si}_{1-x}\text{C}_x$ QDs is described. For spacer layer thickness of 6 nm, generation of aggregated Ge QDs was suppressed possibly due to compensation of cumulative strain field induced by Ge QDs. Dependence of optical properties on spacer layer thickness suggests electric coupling between Ge QDs, namely mini-band formation.

In the sixth chapter, "Application of Multi-stacked Ge QDs to Solar Cells", properties of Ge QD solar cells are described. Slight increase in EQE response up to 1300 nm due to contribution from Ge QD layers and decreased EQE response from 300 to 800 nm because of increase in recombination of holes trapped in Ge QDs are observed. It was also found that the insertion of $\text{Si}_{1-x}\text{C}_x$ layer improves the hole transport due to the formation of mini-band at space layer thickness less than 10 nm.

Finally, "General Discussion" and "General Conclusions" describe an overview and summary of the results and conclusions obtained in this study.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).