

課題番号 : F-13-TT-0010  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名 (日本語) : フォトニックナノ構造・量子ドット結合体を利用した太陽電池開発  
 Program Title (English) : Development of solar cells with photonic nanostructures coupled with Ge quantum dots  
 利用者名 (日本語) : 星裕介, 青沼理, 宇佐美徳隆  
 Username (English) : Y. Hoshi, O. Aonuma, N. Usami  
 所属名 (日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科マテリアル理工学専攻  
 Affiliation (English) : Department of Materials, Physics and Energy Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University

### 1. 概要 (Summary)

テクスチャ構造とフォトニックナノ構造<sup>1-3</sup>を組み合わせたユニークなナノ構造体の作製を試み、その太陽電池開発を行った。ナノ構造体を形成することで、近赤外光励起のフォトルミネッセンス測定において Ge ドット発光ピーク強度の増大が見られた。また、単結晶 Si 太陽電池と比較して近赤外領域における内部量子効率が増大することが分かった。

### 2. 実験 (Experimental)

アルカリエッチングで作製した p-Si(100)片面テクスチャ基板のテクスチャ形成側に POCl<sub>3</sub> を利用したリンイオン熱拡散によって N<sup>+</sup>層を形成した。次に、テクスチャを形成していない側の表面上に Ge coverage 8 原子層, Si スペースー層膜厚 20nm の Ge/Si 構造を 50 周期成長し、Ge ドット積層構造を結晶成長させた。熱拡散後に量子ドット構造の成長を行うことで、量子ドットへの熱負荷を劇的に低減できる。テクスチャ形成表面に SiO<sub>2</sub> 膜を堆積した後、HF/HNO<sub>3</sub> 溶液で Ge ドット領域を選択エッチングすることでフォトニックナノ構造を形成した。これにより Fig.1 (a)に示すようなテクスチャ構造とフォトニックナノ構造を組み合わせた試料構造の作製を試みた。この試料のテクスチャ構造上に AuSb の楕円電極を形成した後に反射防止膜として ITO を堆積した。フォトニックナノ構造上に Al を形成することで太陽電池を作製した。また、参照用として p-Si(100)片面テクスチャ基板上に i-Si 層を 1 μm 成長した試料を用いて太陽電池を作製した。

### 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig.1 (b)と 1(c)に結晶成長直後の試料に対するテクスチャ構造側とフォトニックナノ構造側表面の走査型電子顕微鏡(SEM)像を示す。HF/HNO<sub>3</sub> によるウェットエッチング

後

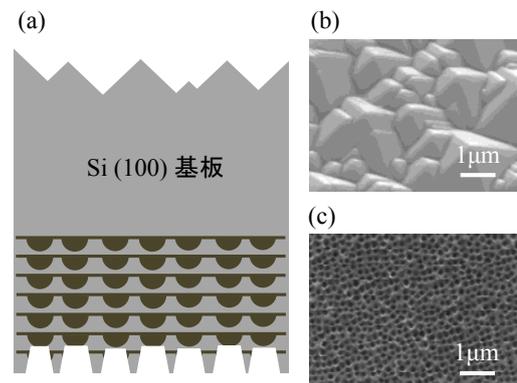


Fig.1(a) Schematic of photonic nanostructures coupled with texturing structures and SEM images of (b) a texturing surface and (c) a photonic nanostructure surface.

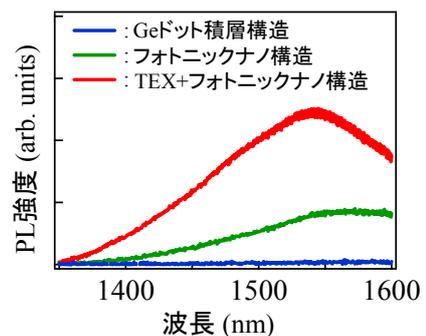


Fig.2 Photoluminescence spectra for samples of a photonic nanostructure coupled with a texturing structure, a photonic nanostructure and a Ge QD multilayer.

においてもピラミッド型のテクスチャ形状が維持されており、テクスチャ構造とフォトニックナノ構造を同時に有する試料構造の作製に成功していることが確かめられた。

Fig.2 に Ge ドット積層構造、フォトニックナノ構造、テクスチャ構造・フォトニックナノ構造結合体の 3 種

類の試料に対するフォトルミネッセンススペクトルを示す。励起光波長を 1100nm として、Ge ドットの発光ピーク近傍のスペクトルを測定した。テクスチャ構造・フォトニックナノ構造結合体の試料では、他の試料と比較して Ge ドットの発光ピーク強度が大きく増大していることが分かる。これは、テクスチャ構造・フォトニックナノ構造結合体の導入により、光キャリア生成量が増大したことを示している。また、テクスチャ構造・フォトニックナノ構造結合体では、Ge ドットピークがブルーシフトしている。これは、生成キャリア量の増大により強励起状態となることで、Ge ドット中の励起準位を介した発光再結合が支配的になったためであると考えられる。

Fig.3 にテクスチャ構造・フォトニックナノ構造結合体太陽電池の近赤外領域における外部量子効率スペクトルを示す。参照用試料と比較して 1000-1250nm 付近で Ge ドットでの光吸収に起因した内部量子効率の増大が見られる。特に、1100nm 付近において大きな増大が得られることが分かった。テクスチャ構造とフォトニックナノ構造の形状を最適化することで、近赤外領域における外部量子効率のさらなる増大が期待される。

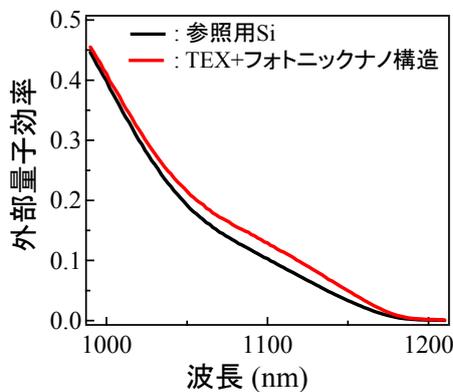


Fig.3 Spectral response spectra for samples of a photonic nanostructure coupled with a texturing structure and a reference sample

#### 4. その他・特記事項 (Others)

##### 参考文献

- [1] N. Usami et al., Nanotechnology **23** (2012)185401
- [2] Y. Hoshi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **52** (2013) 080202
- [3] Y. Hoshi et al., Thin Solid Films **557** (2014)338

#### 謝辞

本研究は、科学技術振興機構の先端的低炭素化技術開発 (ALCA) の支援を受けて行われた。また、フォトルミネッセンス測定は京都大学太野垣健准教授にご協力いただいた。

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) 星裕介, 青沼理, 太野垣健, 宇佐美德隆, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 平成 26 年 3 月 18 日(発表日)

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし