

結晶成長温度の変化によるフォトニックナノ構造の形状制御と光学特性 Control of geometry in Si-based photonic nanostructures fabricated by changing the crystal growth temperature and its impact on optical properties

名大院工¹, 京大化研², ロシア科学アカデミー³, ニジェゴロド国立大学⁴

°青沼 理¹, 星 裕介¹, 太野垣 健², A. Novikov³, D. Yurasov^{3,4}, 宇佐美 徳隆¹

Nagoya Univ.¹, Kyoto Univ.², Russian Academy of Science³, Nizhny Novgorod State Univ.⁴

°O. Aonuma¹, Y. Hoshi¹, T. Tayagaki², A. Novikov³, D. Yurasov^{3,4}, N. Usami¹

E-mail: aonuma.osamu@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

これまで我々は、ナノ構造体・結晶シリコン融合構造を用いることで、太陽電池のエネルギー変換効率が增大する可能性を示し、さらに励起密度の増大により、Ge ドットからのキャリアの取出しが非線形的に増加することを示した[1,2]。したがって、フォトニックナノ構造の形状を制御し Ge ドットでの光吸収を増幅させることで、太陽電池のさらなるエネルギー変換効率の向上が期待できる。本研究では、固体ソース分子線エピタキシー法 (SS-MBE) で結晶成長した Ge ドット積層構造の結晶成長温度変化によりフォトニックナノ構造形状が制御できることを実証し、さらにその形状変化が光学特性に与える影響を調べた。

まず、Si(100)基板上に SS-MBE により結晶成長温度 700, 750, 800 °C で Ge 被覆率が 8 原子層、Si スペース層膜厚が 11-12 nm, 30 周期の Ge ドット積層構造を作製した。その後、フッ硝酸 (HF : HNO₃ = 1 : 100) 溶液を用いてウェットエッチングすることで、ナノ構造体・結晶シリコン融合構造を作製した。エッチング後の試料の表面ディップ深さが約 60 nm になるようにエッチング時間を制御した。

図 1 に結晶成長温度 700, 750, 800 °C で作製した Ge ドット積層構造のエッチング前後における表面走査型電子顕微鏡 (SEM) 像を示す。各結晶成長温度においてエッチング前の Ge ドット密度とエッチングにより形成したフォトニックナノ構造の表面ディップ密度は、ほぼ等しい。これは、Ge ドット領域が選択的にエッチングされることで表面ディップ構造が形成されたことを示している。また、結晶成長温度の増加に伴い Ge ドットおよび表面ディップの直径が増加し、密度は減少している。これは結晶成長温度の増大により表面拡散が促進されることで、吸着した Ge 原子が新たなドットを形成するよりもドットサイズの増加に寄与するようになったためである。この結果は、Ge ドット積層構造の結晶成長温度変化により、フォトニックナノ構造の表面ディップ直径が制御できることを示している。図 2 に、これらの試料の近赤外領域における光吸収スペクトルを示す。エッチング前の試料では、結晶成長温度の変化による光吸収スペクトルの変化は見られなかった。一方、エッチング後の試料では、ナノ構造体の形成により全ての波長領域で光吸収が増大することが分かった。さらに、結晶成長温度の増大により近赤外領域で光吸収が単調に増大することが分かった。これは、フォトニックナノ構造の表面ディップ直径を変化させることで、近赤外領域の光吸収が制御できることを示している。これらの結果は、結晶成長温度 800°C でナノ構造体・結晶シリコン融合構造を作製することで、近赤外光の光吸収増大に基づく太陽電池の短絡電流密度増大が期待できることを示している。

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。

[1] N. Usami et al., Nanotechnology **23**, 185401 (2012). [2] T. Tayagaki et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 133905 (2012).

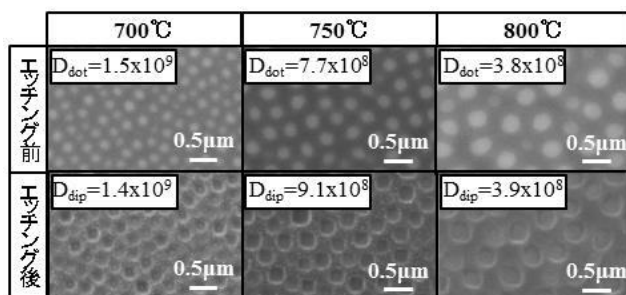


図 1. 結晶成長温度 700, 750, 800 °C で作製した Ge ドット積層構造のウェットエッチング前後の表面 SEM 像。D_{dot} および、D_{dip} は Ge ドットおよび表面ディップ密度 [cm⁻²] を表している。

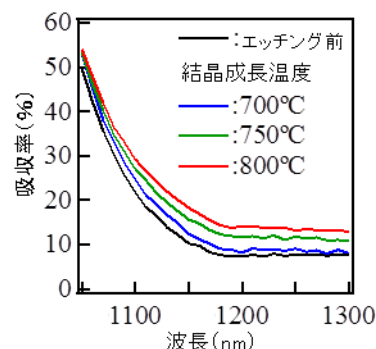


図 2. 結晶成長温度 700, 750, 800°C で作製した試料の光吸収スペクトル