

太陽電池応用へ向けた タイプ II 型自己形成 Ge/Si 量子ドットの作製

SATテクノロジー・ショーケース2014

■ はじめに

環境にやさしくクリーンなエネルギー発電法である太陽光発電は、火力発電や原子力発電などの従来技術と比較すると発電コストが割高になるという課題を抱える。更なる太陽光発電技術の普及には、低コスト化や出力性能の向上が望まれる。2013年10月現在報告されているSi太陽電池の最高効率率は24.7%であり、単接合Si太陽電池の理論限界効率である29%に近づきつつある。一方で、価電子帯と伝導帯の間に中間バンドを導入した新概念の太陽電池が提唱され、変換効率が飛躍的に向上する可能性が示された(図1)。中間バンドの導入により、従来の価電子帯と伝導帯の光学遷移に加えて、中間バンドを介した二段階の光学遷移を利用することで、太陽光とのスペクトル整合が向上し、最適なバンド構造において63%(最大集光下)という超高効率が得られることが予想されている。

中間バンドを形成する手法として、我々はGeとSi材料系を用いた量子ドットに着目して研究を行っている。GeおよびSiは間接遷移型半導体であり、Ge/SiはタイプII型のヘテロ構造である。そのため、実空間と k 空間でのキャリアの分離が可能であり、再結合損失が抑制できる。

本研究は、中間バンド型Ge/Si量子ドット太陽電池の開発を目的として行われた。今回、高密度かつ高均一なSi基板上Ge自己形成量子ドットを作製するために新規にパルス成長法を開発した。

■ 活動内容

▶パルス成長法の開発

理想的な中間バンド構造を形成し、かつ十分な光吸収を得るためには、高均一、高密度、かつ配列性に優れた量子ドットが必要である。現在まで、低温成長法やサーファクタント法による高密度化が報告されている、しかしながら、これら技術は点欠陥の発生や不純物の混入などの課題がある。そこで本研究では、2.8 Å/sの高速堆積と5秒間の成長中断からなるパルス成長法を新規に開発した。

図2は、パルス成長法でそれぞれ作成した20層積層Ge量子ドットの(a)表面の原子間力顕微鏡(AFM)像と(b)断面走査型透過電子顕微鏡(STEM)像である。Ge量子ドットの平均サイズ、平均高さ、サイズ揺らぎ、密度はそれぞれ28.8 nm、2.1 nm、12.4%、 $6.9 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。本パルス成長技術を用いることにより、低温成長やサーファクタントを用いることなく高均一かつ高密度な積層Ge量子ドットを得られることが分かった。これは、2.8 Å/sの高速堆積に

より、Geの表面マイグレーションが抑制され、高密度な量子ドットの核が形成されたことが考えられる。STEM像ではSi中間厚10 nmの積層構造において、量子ドットの成長方向に整列している様子が確認できた。薄いSi中間層を用いることにより、下層の量子ドットの歪み場が直上に強く伝搬することで高い配列性が得られることが分かった。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

- [1] K. Gotoh *et al.*, J. Cryst. Growth 378 (2013) 439.
[2] K. Gotoh *et al.*, Thin Solid Films, in press.

本研究は、産業技術総合研究所において実施された。

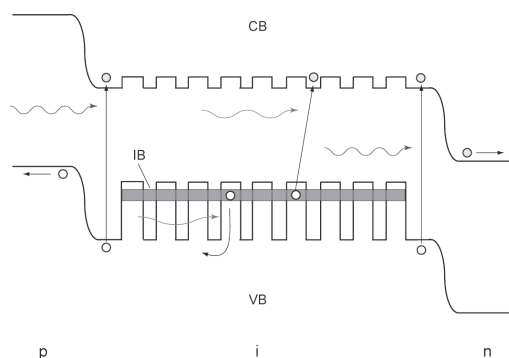


図1: 中間バンド型 Ge/Si 量子ドット太陽電池のバンドダイアグラム。

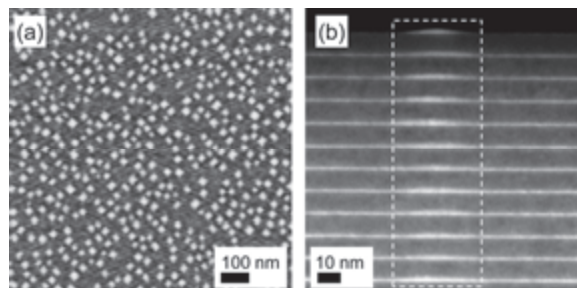


図2: 20層積層Ge量子ドットの(a)表面AFM像(Si中間層厚40 nm)と(b)断面STEM像(Si中間層厚10 nm)。

代表発表者 後藤 和泰(ごとう かずひろ)
所属 東京工業大学 大学院総合理工学研究科
物質科学創造専攻
問合せ先 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259
TEL: 045-924-5567 FAX: 045-924-5567
gotou.k.ab@m.titech.ac.jp

■キーワード: (1)エピタキシー
(2)自己形成量子ドット
(3)タイプII型ヘテロ構造