

Si(001)基板上自己形成 Ge 量子ドットの堆積速度依存性

Dependence of deposition rate on characteristics of
Ge quantum dots grown on Si (001) substrate東工大¹, 産総研²○後藤和泰^{1,2}, 大島隆治², 菅谷武芳², 坂田功², 松原浩司², 近藤道雄^{1,2}Tokyo Tech¹, AIST²○K. Gotoh^{1,2}, R. Oshima², T. Sugaya², I. Sakata², K. Matsubara² and M. Kondo^{1,2}

E-mail: gotou.k.ab@m.titech.ac.jp

【はじめに】

中間バンド型太陽電池は、禁制帯中の中間バンドを介した 2 段階の赤外光の光吸収を利用することにより変換効率の超高効率化が期待できる。現在、中間バンドを形成する方法として、高均一な量子ドットを高密度かつ近接させることによって形成されるミニバンドを利用することが検討されている。本研究では安価かつタイプ II 型ヘテロ構造を形成可能な Si 基板上 Ge 量子ドット太陽電池を検討している。前回、Si 基板上の自己形成 Ge 量子ドットの形成を成長温度 500 °C、堆積速度 2.8 Å/s、5 秒の成長中断からなるパルス成長法を用いることにより、高均一かつ高密度な Ge 量子ドットが得られることを報告した^[1]。今回、堆積速度が Ge 量子ドット形成とその発光特性に及ぼす影響について調べた。

【実験】

MBE 法を用いて、Si(001)基板上に S-K 成長機構を利用することにより自己形成 Ge 量子ドットを形成した。Si および Ge 原料は電子ビームによって加熱した。Ge 量子ドットの成長前の Si 基板の表面処理には、一般的な RCA 洗浄を行い、真空装置内に搬入した。その後、基板温度 850 °C で熱クリーニング処理を行い、基板温度 600 °C で約 150 nm の Si バッファー層を成長した。基板温度 500 °C に下げた後、Ge を堆積速度 1.4 Å/s、2.8 Å/s で 5 ML 堆積し、Ge 堆積後に 30 秒の成長中断を行った。原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて Ge 量子ドットの表面観察を行った。

【結果と考察】

図 1 は、(a)堆積速度 1.4 Å/s、(b) 2.8 Å/s の条件下において 5.0 ML 堆積時した試料の表面 AFM 像である。(c)、(d)はそれぞれの Ge 量子ドットの直径のヒストグラムである。(a)の Ge 量子ドットの平均高さ、平均直径、直径揺らぎ、密度は、それぞれ 5.5 nm, 41.3 nm, 18.6 %, $1.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ である。一方、(b)の量子ドットの各パラメータはそれぞれ、1.8 nm, 29.9 nm, 11 %, $5.65 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。さらに量子ドットサイズのヒストグラムから、(c)では直径約 25nm の量子ドットと直径約 40nm の量子ドットが支配的な bimodal な分布であり、(d)では量子ドット直径約 25nm の量子ドットのみ monomodal な分布であることが分かった。これらの結果は、Ge 原子の表面マイグレーションが大きく影響していることを示唆している。すなわち、1.4 Å/s の低速堆積では Ge 原子の表面マイグレーションが大きく、複数のファセット面が形成されやすいのに対して、2.8 Å/s の高速堆積では表面マイグレーションが抑制され、形成されるファセット面が限定されたことが考えられる。以上から、パルス成長法において 2.8 Å/s 程度の堆積速度を用いた場合に、高密度かつ高均一な Ge 量子ドットが形成できることが分かった。

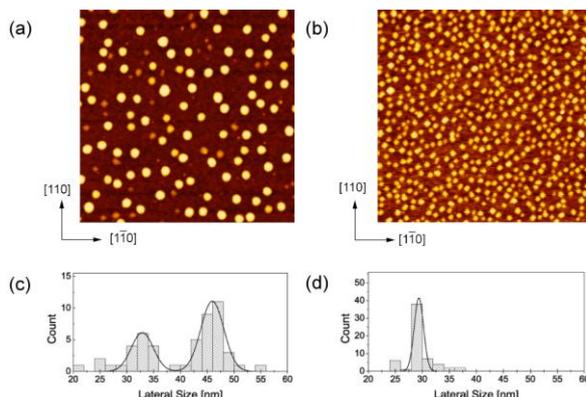


図 1 (a)堆積速度 1.4 Å/s、(b)2.8 Å/s の条件下で 5.0 ML 堆積させて形成した Ge 量子ドットの表面 AFM 像 (1 μm × 1 μm)。 (c)、(d)はそれぞれの Ge 量子ドットの直径のヒストグラムである。

[1] 後藤 他, 第 73 回秋季応用物理学会, 13p-F6-1.