

## 歪み補償系多重積層 Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 自己形成量子ドットの構造評価

### Structural properties of multi-stacked Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> self-assembled quantum dots using strain-compensation techniques

東工大<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup>, <sup>○</sup>後藤和泰<sup>1</sup>, 大島隆治<sup>2</sup>, 菅谷武芳<sup>2</sup>, 坂田功<sup>2</sup>, 松原浩司<sup>2</sup>, 近藤道雄<sup>1,2</sup>

Tokyo Tech<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, <sup>○</sup>K. Gotou<sup>1</sup>, R. Oshima<sup>2</sup>, T. Sugaya<sup>2</sup>, I. Sakata<sup>2</sup>, K. Matsubara<sup>2</sup>, M. Kondo<sup>2</sup>

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

#### 【はじめに】

近年、価電子帯と伝導帯の間に導入した中間バンドを介した 2 段階の光学遷移を利用した高効率中間バンド型太陽電池が注目されている。中間バンド型太陽電池は、最適なバンドで構成され、最大集光下で動作させた場合に変換効率が 63%に達することが予測されている。これまでに、我々は Si 基板上 Ge 自己形成量子ドットの MBE 成長において、2.8 Å/s の高速堆積と堆積後の成長中断により面内に高均一かつ高密度な量子ドットが形成されることを報告した。しかし、Ge 量子ドットの積層構造では、量子ドット部で発生する圧縮歪みが積層数の増大に伴い蓄積し、臨界膜厚を超えた場合には転位が発生し素子性能が大きく劣化する。そこで、今回我々は積層量子ドット間の中間層に Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 材料を用いた歪み補償系 Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 積層量子ドットの作製を行い、その構造を評価した。

#### 【実験】

固体ソース MBE 法を用いて、Si(001)基板上に 20 層積層 Ge 自己形成量子ドットを作製した。カーボン (C) 分子線は、C フィラメントを 1400°C に加熱させることにより生成した。本成長条件で得られた Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 中の C 組成は 0.05% である。RCA 洗浄により表面清浄化した Si 基板は、真空槽内で 750 °C に加熱し酸化膜の除去を行った。その後成長温度 600 °C で 150 nm 厚の Si バッファ層を成長し、基板温度 500 °C で 20 層積層 Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 量子ドットを成

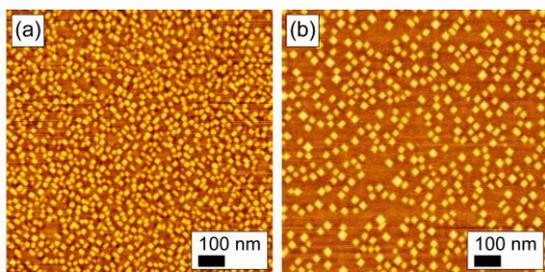


Fig. 1 AFM images of 20-layer stacked (a) Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>, and (b) Ge/Si quantum dots (QDs). (1μm×1μm)

長した。Ge 量子ドットの堆積速度、および堆積量は、それぞれ 2.6 Å/s, 4.6 ML である。Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 中間層は堆積速度 2.0 Å/s で膜厚 ( $d_{SL}$ ) を 10nm, 20nm, 40nm の 3 つの条件を用いた。このとき、Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> と Ge 量子ドットの界面の結晶品質を向上させるため、ドット形成前と形成後に 2 nm 厚の Si 層を導入した。

#### 【結果】

図 1 は、 $d_{SL} = 20$  nm を用いて 20 層積層させた (a) Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 量子ドットと比較として作製した (b) Ge/Si 量子ドット<sup>[1]</sup> の AFM 表面像である。また、図 2 は、Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> および Si 中間層を用いた積層量子ドットの量子ドットパラメータの中間層厚依存性である。Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 中間層を用いた量子ドットは Si 中間層を用いた量子ドットと比較してサイズが減少し、密度が増加することが分かり、ドット形成前の表面近傍の C 原子による局所的な歪みが Ge の表面拡散を抑制したことが考えられる。さらに、Ge/Si 量子ドットの場合  $d_{SL}$  の減少に従って高さ、径、サイズ揺らぎが増大したのに対し、Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> 量子ドットでは中間層膜厚に依存せず一定であり、歪み補償効果が得られていることが示唆される。

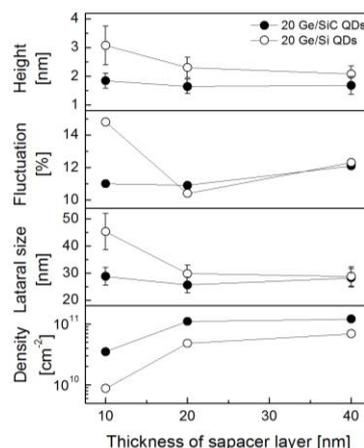


Fig. 2 Spacer layer thickness dependence of structural parameters of 20-layer stacked Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> QDs (●) and Ge/Si QDs (○), respectively.