

液滴エピタキシー法により InP(111)A 面上に作製した InAs 量子ドットのキャップ無しアニールによる形状変化

Annealing-induced structural deformation of droplet epitaxial InAs quantum dots on InP(111)A

物材機構 ○間野 高明, 大竹 晃浩, Ha Neul, 野田 武司, 佐久間 芳樹, 黒田 隆, 迫田 和彰

NIMS, °Takaaki Mano, Akihiro Ohtake, Neul Ha, Takeshi Noda, Yoshiki Sakuma,

Takashi Kuroda, Kazuaki Sakoda

E-mail: MANO.Takaaki@nims.go.jp

【はじめに】我々は通信波長帯の量子もつれ光子対実現に向けて、液滴エピタキシー法による InP(111)A 基板上の高対称性 InAs 量子ドット自己形成に関する研究を行っている[1]。この材料系の液滴エピタキシー法では、キャップ層成長前の InAs 量子ドットをアニールすると、量子ドットから InAs が流れ出して InAs 二次元構造が形成される。今回、In(As)照射量とアニール温度をパラメーターとして、アニールによる量子ドットの形状変化を系統的に分析することにより、量子ドットからの InAs の流れ出しとその抑制機構についての考察を行った。

【実験方法】結晶成長には分子線エピタキシー法を用いた。480℃で InP(111)A 基板上に $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ バッファ層を成長させた後、基板温度を 270℃まで低下させて、0.4~2.0ML 相当の In を照射することにより In 液滴を形成した。液滴形成後、砒素分子線 (3×10^{-5} Torr BEP) を照射して結晶化した。その後、基板温度を 370℃または 470℃まで昇温し、砒素雰囲気下で量子ドット構造を 5 分間アニールした。作製した試料は大気中の AFM により観察を行った。量子ドットの総体積は、量子ドットの形状を円錐台と仮定して AFM 像中の一つ一つの量子ドットの体積を高さとベースサイズから計算することにより見積もった。

【結果及び考察】図 1 に、結晶化直後 (270℃)、370℃及び 470℃アニール後の量子ドットの密度及び、量子ドットの総体積 (ML 換算) をプロットしたグラフを示す。結晶化直後の量子ドット密度は、In の照射量によらずほぼ一定の $1 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ であった。量子ドットの総体積はほぼ照射量と一致しており、以前に報告したように InAs 量子ドットが 2 次元層無しに形成されていることが確認された[1]。なお、In 照射量の多い試料においては量子ドットサイズと密度の問題により AFM による正確なサイズ分析が困難であった。370℃アニールでは、0.8ML 以上の In を照射した試料において量子ドットが観察された。照射した In 量と量子ドットの総体積から流れ出した InAs 量を見積もると 0.6~1.0ML 相当となった。流れ出した InAs の総量は 1 ML 以下であり、InAs の 2 次元層ができていたことが示唆された。一方、470℃アニールの試料においては 1.4ML 照射以上の試料において量子ドットが観察された。同様に流れ出した InAs 量を見積もると、1~1.3ML 相当となり流れ出した InAs がほぼ全面を覆い約 1ML 厚の二次元層を形成していることが示唆された。膜厚は発光特性評価により確認している。このように、流れ出した InAs が一層表面を覆うとそれ以上の二次元成長は抑制されることが明らかとなり、これは SK 成長のような歪の効果によると考えている。

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 16H02203 の助成を受けた。

【参考文献】[1] N. Ha et al., APL 104, 143106 (2014).

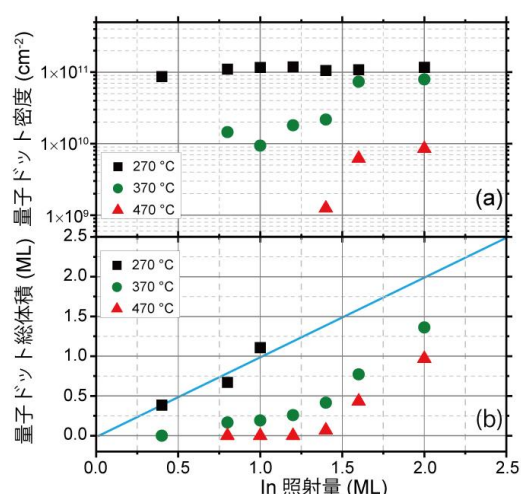


図 0.4~2.0ML の In を照射して形成した InAs 量子ドットの(a) 密度と(b) 総体積のアニール温度依存性