

MOCVD による高密度 ($> 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) InGaN 量子ドットの形成

Formation of high-density ($> 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) InGaN quantum dots by MOCVD

東大ナノ量子機構¹, 東大生研², 厦門大³ ◦有田 宗貴¹, 梅 洋^{2,3}, 荒川 泰彦^{1,2}

NanoQuine, Univ. of Tokyo¹, IIS, Univ. of Tokyo², Xiamen Univ.³, ◦Munetaka Arita¹, Yang Mei^{2,3},
and Yasuhiko Arakawa^{1,2}

E-mail: arita@iis.u-tokyo.ac.jp

はじめに: レーザダイオードの活性層に量子ドット(QD)を導入することによって、発振しきい値の低減や動作温度域の拡大など様々な特性向上が期待できる。一般的な III-V 族化合物半導体と比較して電子・正孔の有効質量が大きい窒化物半導体の場合、特にしきい値の低減に関して QD の恩恵が大きいことが予測されている[1]。窒化物半導体 QD レーザの報告例はいくつかあるが、MOCVD で成膜する場合は QD の密度や均一性の向上が課題として挙げられる。今回、我々は MOCVD 成長 InGaN QD の形成条件を検討し、 10^{11} cm^{-2} 台の高密度化を実現したので報告する。

実験: サファイア(0001)基板に InGaN/(In)GaN 3 周期量子井戸構造を MOCVD で成長した(温度 620~680 °C、圧力 760 Torr、V/III 比約 4,400~7,800)。最表面の活性層はキャップしておらず、その表面モフォロジーを原子間力顕微鏡(AFM)によって観察した。

結果: 680 °C で通常の成長を行うと、量子井戸層厚が 5 nm 程度であっても成長モードは二次元的である。成長温度を 620 °C まで下げたところ、三次元的成長への移行が観察された(図 1)。形成された三次元ナノ構造の寸法は直径 5~20 nm、高さ約 1 nm であり、密度は約 $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ である。低温成長によって In の取り込みが上がりると同時に表面での拡散長が短くなった結果、Stranski-Krastanov (S-K)モードに近い自己形成が起こったものと考えられる[2]。

一方、一般的に低温成長では良好な光学特性との両立が容易ではない。そこで、680 °C において In 原料のみ間歇的に供給するパルス成長を行ったところ、図 2 のような表面形状が観測された。ステップ端近傍において明瞭な三次元成長への移行が確認できる。パルス成長によって固相への In 原子の取り込み効率が上がり、相対的に成長速度の速いステップ端において S-K 成長と類似のモフォロジー変化が起こった可能性がある。単位ステップ長さあたりのナノ構造(一次元的)密度は高く、今後ステップ間隔・形状を制御することでさらなる(二次元的な)高密度化も期待できる。

謝辞: 本研究は科研費特別推進研究(15H05700)および NEDO プログラムにより遂行された。

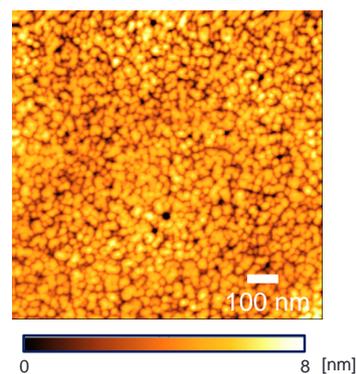


Fig. 1: $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ AFM image of InGaN QDs grown at 620 °C with continuous source supply.

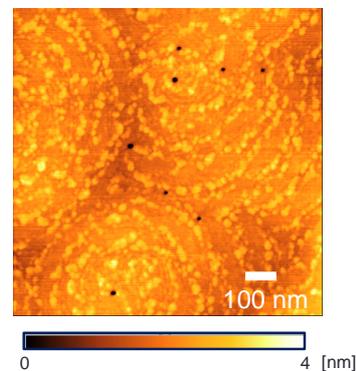


Fig. 2: $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ AFM image of InGaN QDs grown at 680 °C with pulsed In source supply.