サファイア基板上高密度(2.0×10¹¹ cm⁻²) GaN 量子ドットの MOCVD 成長

MOCVD growth of high-density $(2.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2})$ GaN quantum dots

on sapphire substrates

東大ナノ量子機構 〇有田 宗貴, 荒川 泰彦

NanoQuine, Univ. of Tokyo, °Munetaka Arita and Yasuhiko Arakawa

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

はじめに:電子・正孔の有効質量が大きい窒化物半導体を用いた量子ドット(QD)レーザは、特にしきい値の低減に関して QD の恩恵が大きく[1,2]、高出力レーザとして加工用紫外光源などへの応用が有望視される。これまで我々は 6H-SiC 基板上に GaN/AIN QD を形成し、高温単一光子源の実現などの成果をあげてきたが[3]、基板での光吸収損失を抑えるためにはサファイア基板の利用が望ましい。今回、MOCVD によるサファイア基板上 GaN/AIN QD の自己形成において、従来6H-SiC 基板上で報告された値(2.2×10¹¹ cm⁻²) [4]に迫る高密度を実現したので報告する。

実験: サファイア(0001)基板 [16×21 mm²]に GaN/AIN QD を MOCVD で成長した(QD 成長条件: 温度 950 ℃、圧力 200 Torr、V/III 比約 20)。実験に使用した横型 MOCVD 炉では、非回転式のサ セプタに基板を搭載する。材料は TMG, TMA, NH₃、キャリアガスは水素と窒素を用いた。成長後 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:GaN QD 成長時の材料供給量は一般的な膜成長時の 1/10~ 1/1000 である上、QD 密度は材料供給量に強く依存するため、気相で の材料分子の(基板に平行な方向の)輸送・濃度勾配および拡散の影響 が顕著である。GaN QD 密度の分布[図 1]は一般的な膜の成長速度分布 とはかなり異なり、上流側では端から 10 mm 以上漸増することが分か った(上流端付近は GaN 濡れ層(wetting layer)のみ成長)。GaN QD の自 己形成のように成長ウインドウが極端に狭い場合、一般に成長条件の 最適化は必ずしも容易ではない。今回、材料供給量を連続的に変化さ せたこととほぼ等価である面内分布の積極的な活用により、高密度 (2.0×10¹¹ cm⁻², サファイア基板上の最高密度)の GaN QD 形成に成功 した[図 2]。今後、局所的材料供給量分布を定量的に見積もれば、効率 的な最適化ツールとしての有用性がさらに高まると期待される。



Fig. 1: Density distribution of GaN QDs. Inset: Schematics of substrate and gas flow



Fig. 2: AFM image of high-density GaN QDs.

謝辞:この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

参考文献: [1] Y. Arakawa, IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. 8, 823 (2002). [2] R. Tao and Y. Arakawa, Jpn. J. Appl. Phys. 58, SCCC31 (2019). [3] S. Kako *et al.*, Nat. Mater. 5, 887 (2006). [4] K. Hoshino *et al.*, J. Cryst. Growth 272, 161 (2004).