

窒化物半導体結晶成長技術を駆使した量子光源の開発

Development of quantum light sources

using nitride semiconductor crystal growth technologies

三重大院工¹, 阪大院工², 三重大共創機構³, 三重大院地域イノベ⁴

○正直花奈子^{1,2}, 本田啓人², 上杉謙次郎^{3,4}, 肖世玉¹, 谷川智之², 片山竜二², 三宅秀人¹

Grad. Sch. of Eng.¹, MRPCO³, Grad. Sch. of RIS.⁴, Mie Univ., Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ.²

○Kanako Shojiki^{1,2}, Hiroto Honda², Kenjiro Uesugi^{3,4}, Shiyu Xiao¹, Tomoyuki Tanikawa²,

Ryuji Katayama², Hideto Miyake¹

E-mail: k.shojiki@elec.mie-u.ac.jp

高セキュリティ、大容量、および省エネルギー化に寄与する革新的情報技術として、量子計算機および量子情報通信技術の構築が急がれている。これに対して、室温動作可能で小型な量子光源が実現できれば、低温かつ低ノイズが必要となる超伝導材料を用いて商用化されている現在の量子計算機の光量子計算機への置き換えや、安全性の高い量子暗号通信へと繋がる。窒化物半導体の(Al)GaN は室温でも安定な励起子を有しており、ナノワイヤ構造中の GaN 量子ドットから室温以上での単一光子発生が実証されている[1]。一方、量子ドットに対してフォトニック結晶微小共振器を作製することで共振器量子電磁気学(キャビティ QED)の強結合領域を既に実証している III-V 族化合物半導体(例えば[2])と比較して、窒化物半導体を用いた量子光源の開発は、微細加工の観点で不利な化学的安定性、異種基板への結晶成長による高い貫通転位密度、集積化できる短波長励起光源の不在などの困難さを伴う。

これに対して、我々は、ボトムアップの結晶成長技術とトップダウンの微細加工技術を組み合わせることで、室温動作かつ集積化が可能な窒化物半導体の量子光源を提案し作製を行っている。

講演ではまず、有機金属気相成長(MOVPE)法により作製された Sapphire 基板上の GaN 薄膜中の InGaN の特異構造からの励起子分子発光[3]について述べる。次に、Si 基板上の窒化物半導体のフォトニック結晶微小共振器[4]と集積可能な量子ドットとして、Si 基板上 AlN 膜中に分子線エピタキシー(MBE)法により作製した自己形成[5]および位置制御[6]GaN 量子ドットの量子相関測定と自己形成量子ドットからの室温における単一光子発生の実証[5]について述べる。さらに、量子光源との集積化が見込める励起光源応用を目的として、AlN 薄膜のスパッタ成膜と高温アニールを組み合わせたスパッタアニール法[7]により作製された積層方向極性反転 AlN[8]のチャネル導波路からの遠紫外光の第二次高調波発生[9]について示す。これらの集積化の手法として、窒化物半導体におけるウエハ接合[10]や、Sapphire 基板からの AlGaN 系材料のレーザーリフトオフ技術[11]についても紹介する。最後に、結晶歪みによる GaN 量子ドットの遷移波長のチューニングの試みについて議論する。

[1] M. J. Holmes *et al.*, ACS Photonics **3**, 543 (2016).

[2] K. Hennessy *et al.*, Nature **445**, 896 (2007).

[3] K. Takamiya *et al.*, Phys. Stat. Solidi B **255**, 1700454 (2018).

[4] I. Rousseau *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 125313 (2017).

[5] S. Tamariz *et al.*, ACS Photonics **7**, 1515 (2020).

[6] K. Shojiki *et al.*, IWUMD2017, We-10 (2017).

[7] H. Miyake *et al.*, J. Cryst. Growth **456**, 155 (2016).

[8] K. Shojiki *et al.*, J. Cryst. Growth **574**, 126309 (2021).

[9] 本田他, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 26p-E203-6 (2022).

[10] N. Yokoyama *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **61**, 050902 (2022). [11] K. Shojiki *et al.*, Appl. Phys. Express **15**, 051104 (2022).

【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費(21K14545, 22H01970, 22K14612)、JST CREST(16815710)、JST FOREST(JPMJFR2301)、NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業(21502153-0)、NEDO 先導研究の支援により行われた。