

GaAs キャップ層により埋め込まれた InAs 量子ドットの キャップ層成長レートによる広帯域発光中心波長制御

Broadband emission- λ control of buried InAs QDs with the growth rate of a GaAs capping layer

和歌山大シスエ¹, 物材機構²

○(M1)王 涛¹, 岡田 直樹¹, 大島 仁¹, 尾崎 信彦¹, 池田 直樹², 杉本 喜正²

Wakayama Univ.¹, NIMS², ○T. Wang, N. Okada, J. Oshima, N. Ozaki, N. Ikeda, and Y. Sugimoto

E-mail: ozaki@wakayama-u.ac.jp

【はじめに】GaAs 基板上に自己組織的に成長する InAs 量子ドット(InAs-QD)は、近赤外広帯域光源用の発光材料として有用である。InAs-QD を発光デバイスに応用する際には、QD 内でのキャリア再結合効率を上げるために、GaAs などのエネルギー障壁層に QD を埋め込む (キャッピング) 必要がある。しかし、QD 上へのキャッピング層のエピタキシャル成長によって埋め込む際に、QD からの In 拡散によって QD のサイズが減少し、発光波長が変化することが知られている[1]。そのため、QD デバイスの発光波長の再現性や調整には、キャッピング層成長条件の制御が重要となる。我々の先行研究では、キャッピング層成長時の基板温度やキャッピング層の In 組成により、埋め込まれた QD サイズおよび発光波長が異なることを確認しており、そのキャッピング層成長時における反射高速電子線回折(RHEED)強度の変化から、埋め込まれた QD の発光波長予測が可能であることを報告している[2]。一方、Utrilla らは、これまであまり注意が払われていなかったキャッピング層の成長レート(キャッピングレート: CR)が、埋め込まれた QD の発光特性に影響を及ぼすことを報告している[3]。そこで本研究では、キャッピング層成長条件の新たなパラメータとして CR に着目し、GaAs 層に埋め込まれた InAs-QD の発光波長制御技術としての利用と、広帯域発光デバイスへの応用の可能性を検討した。

【実験手法】分子線エピタキシー法より GaAs 基板上に同一条件 (成長基板温度約 480 °C、InAs 供給量 2.0 ML) で InAs-QD を成長した後、キャッピング層成長時の基板温度 (T_{cap}) を 450 °C とし、GaAs 層でキャッピングを行った。その際の CR を 0.3~1.0 ML/s に変化させた四つの QD サンプルを作製した。また、各サンプルでのキャッピング層成長中に QD から得られる InAs(004)の RHEED 強度変化を測定した。成長後、埋め込まれた QD の光学特性評価を、室温でのフォトルミネセンス (PL) 測定により行った。

【結果と考察】 T_{cap} を 450 °C に固定して異なる CR で成長したサンプルの PL 測定結果を Fig. 1 に示す。CR の増加に伴い発光中心波長が 1137 nm から 1237 nm にレッドシフトすることが分かった。この変化が量子サイズ効果によるとすると、速い CR でキャッピングした方が、埋め込まれた QD のサイズが大きいことを示唆する。また、キャッピング層成長時の RHEED 強度をプロットし、ランジュバン関数でフィッティング(実線)した結果を Fig. 2 に示す。強度減衰の速さを評価する指標として、ランジュバン関数の変曲点を CR に対してプロットした(Fig.2 挿入図)ところ、CR の増加に伴い連続的に変曲点が増大することが分かった。我々の先行研究において変曲点は埋め込まれた QD のサイズに関連することが分かっており[2]、この結果からも CR 増大とともに埋め込まれた QD サイズが大きくなっていることが示唆された。その理由として、CR 増加によって QD が埋め込まれるまでの時間が短くなり、QD からの In 原子の拡散量が抑えられた結果、QD サイズ減少が抑制されたと考えられる。以上の結果から、キャッピング層成長時の CR によって埋め込んだ QD のサイズ及び発光波長制御の可能性が示された。特に、キャッピング層に In を含まない GaAs 層でも、CR を制御することで発光中心波長が 100nm 以上変化することが示されており、今後、広帯域光源デバイスへの応用が期待される。

【謝辞】本研究は科研費(16H03858,16KK0130)、高等教育機関コンソーシアム和歌山の助成を受けて実施された。

References [1] T. Kaizu, T. Matsumura, and T. Kita, J. Appl. Phys. **118**, 154301 (2015). [2] D. Ikuno, T. Wang, N. Okada, and N. Ozaki, CSW2019, MoP-A-8 (2019). [3] A. D. Utrilla, et al., Appl. Surf. Sci. **444**, 260 (2018).

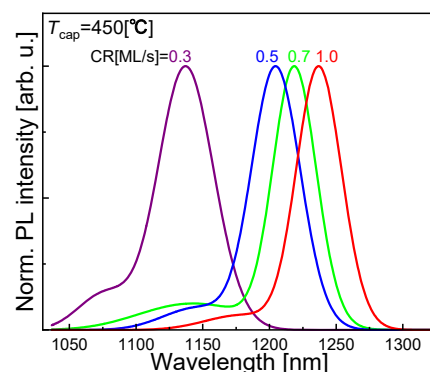


Fig.1 PL spectra obtained from buried InAs-QDs capped with a GaAs layer grown with various CR.

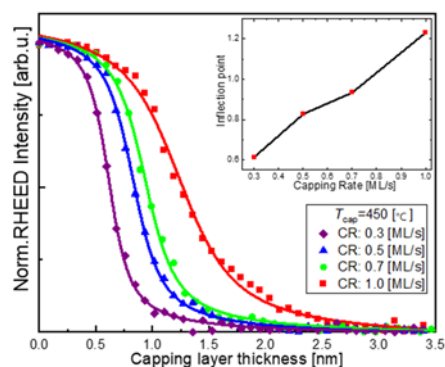


Fig.2 RHEED intensity variations (points) and fitting curves (solid lines) during the capping process for InAs-QDs. The inset shows a relation between the inflection point and CR.