

RHEED 強度計測によるキャップ層内埋め込み InAs 量子ドットの特性評価

Characterization of InAs QDs embedded in a capping layer by RHEED intensity measurement

和歌山大シスエ [○]D. Ikuno, N. OzakiWakayama Univ. [○]D. Ikuno, N. Ozaki

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

【はじめに】格子歪誘起による GaAs 基板上自己組織化 InAs 量子ドット(QD)[1]は、近赤外波長帯の光学デバイス材料としてこれまで多くの研究がなされている。一般的に InAs-QD を用いた光学デバイス応用には、QD 内でのキャリア再結合効率を上げるために QD よりもバンドギャップエネルギー(E_g)の大きいエネルギー障壁層(キャップ層)で QD を埋め込む必要がある。その際、QD 内の In 原子が熱拡散し、QD サイズが減少することが知られている[2-4]。QD における量子閉じ込めサイズは E_g に影響するため、光学デバイスとして InAs-QD を利用するためには、埋め込まれた QD の実効的なサイズを計測し、発光波長などの光学特性を予測することが重要である。しかしながら、埋め込まれた QD の構造評価は、成長後に断面透過型電子顕微鏡法などを用いる必要があり、その場で簡易に埋め込まれた QD のサイズや E_g に依存する発光波長などの物性が評価できる手法が求められる。本研究では、InAs-QD のキャッピング層内への埋め込み過程を反射高速電子線回折(RHEED)により観察し、回折強度の変化を解析することにより、QD 構造変化とそれに関連する光学特性を推定できる可能性を見出したので報告する。

【実験手法】サンプルは分子線エピタキシー法により成長した。GaAs(001)基板上に InAs-QD を約 480°C で成長後、キャップ層(厚さ 4nm)で埋め込む際の InAs(004)の RHEED 強度の変化を測定した。サンプルは 2 種類のシリーズを作製した。一つは、キャップ層を GaAs とし、キャップ層成長時の基板温度を変化させた。もう一つは、キャップ層成長時の基板温度は 410°C に固定し、キャップ層($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$)の In 組成(x)を変化させた。各サンプルを成長後、室温でのフォトルミネッセンス(PL)測定により光学特性評価を行った。

【結果と考察】Figs. 1(a),(b)のプロットは、それぞれキャップ層成長時の基板温度と、キャップ層の In 組成比とを変化させた際の InAs(004)の RHEED 強度変化を示す。各強度はキャップ層成長開始時の強度で規格化した。得られた各プロット点に対し、ランジュバン関数でフィッティングを行った結果を実線で示す。フィッティングは強度変化に対し非常に良い一致を示した。ランジュバン関数は、常磁性体の磁化などの秩序・無秩序相間の遷移を表す関数であることから、量子ドット内の結晶原子配列(秩序相)による電子線回折が、キャップ層成長時の In 原子の熱拡散などによる結晶表面近傍の擬似的な液相(無秩序相)への変化により回折強度が低下していく過渡現象を表していると考えられる。ランジュバン関数によるフィッティング曲線の変曲点と PL 測定から得られた発光ピークエネルギー(E_g)の関係を Fig.2 に示す。両者に一定の相関が見られたことから、RHEED 強度変化の変曲点が埋め込み時の QD 構造変化(サイズ減少)量を反映したパラメータであり、この値によって埋込み QD の E_g の同定の可能性が示された。

References

- [1] L. Goldstein, et al., Appl. Phys. Lett. **47**, 1099 (1985).
- [2] K. Shimomura et al., Appl. Phys. Lett. **118** 185303 (2015).
- [3] T. Kaizu et al., J. Appl. Phys. **118**, 154301 (2015).
- [4] K. Nishi et al., Appl. Phys. Lett. **74**, 1111 (1999).

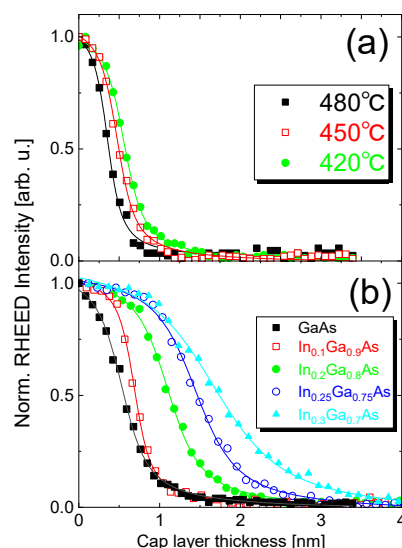


Fig. 1 RHEED intensity variation plots and fitting curves (solid lines) during capping process for InAs-QDs with various (a) growth temperature and (b) In concentration of a capping layer.

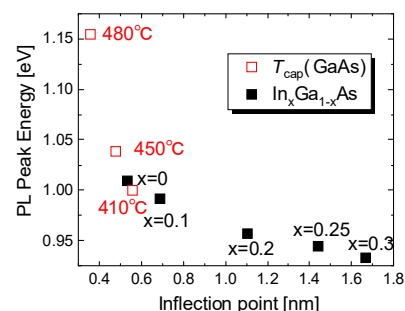


Fig. 2 Relation between the PL peak energy of InAs QDs and the inflection point in the fitting curve.