

課題番号 : F-20-HK-0045
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 歪み印加での変調を可能とする量子ドット発光デバイスの作製
Program Title (English) : Fabrication of the QD photon source controlled by the external stress
利用者名(日本語) : 野添胡桃, 五十嵐与樹, 鍛冶怜奈, 足立智
Username (English) : K. Nozoe, T. Igarashi, R. Kaji, S. Adachi
所属名(日本語) : 北海道大学大学院工学院
Affiliation (English) : Faculty of Engineering, Hokkaido University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, 量子ドット, 応力変調

1. 概要(Summary)

近年, 量子ドット(QD)中のスピン自由度の利用研究が量子情報処理・スピントロニクス分野で精力的に行なわれている。QD での長い正孔スピンコヒーレンスを量子ビットとして活用するには, 外部歪みなどによる価電子帯混合の制御が重要である。本研究では外部歪みによる正孔 g 因子制御を目指し, 圧電素子を用いた外部歪み印加構造の作製を行なった。この構造は歪誘起の核四極子相互作用の変調にも応用できる。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 超高精度電子ビーム描画装置 125KV (ELS-F125), 反応性イオンエッチング装置 (RIE-10NRV), ICP 高密度プラズマエッチング装置 (RIE-101iHS), プラズマ CVD 装置 (PD-220ESN), 多元スパッタ装置 (QAM-4-ST), 電子ビーム蒸着装置 (EB-580S), 超高分解能走査型電子顕微鏡 (SU8230), 電界放射型走査型電子顕微鏡 (JSM-6700FT), レーザー顕微鏡 (VK-9700/9710)

【実験方法】 分子線エピタキシー法で GaAs(111)A 基板上に液滴成長した GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As QD 試料を用い, 歪み変調型発光デバイスを作製する。ナノピラー加工を施した QD 成長膜を圧電素子表面に蒸着した金属電極に圧着することで, QD 層に外部歪みを加える。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1(a)に本実験で作製したナノピラー画像を示す。直径 ϕ 500 nm, 長さ 2.75 μ m で, 電子ビーム描画とドライエッチング処理を施し, 概ね, 設計通りのナノピラーが作製できていることを確認した。また Fig. 1(b)に, 膜厚 100 nm/3 nm の Au/Cr 層を蒸着した圧電素子 (001)-[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃]-[PbTiO₃] (PMN-PT)を示す。膜厚が均一で, 平坦性も良好な電極を, 圧電素子表面に蒸着することができた。

プラズマ CVD によりピラー表面を SiO₂ (膜厚 50 nm) で覆う作業まで済んでいるので, 今後は圧電素子上にピラーを分散転写し, 熱圧着する(現在, 圧着条件を模索中)。これにより 2 軸歪みをピラー中の QD 層に伝えることが可能となるが, より大きい応力を加えるために, 圧着後の試料表面に HSQ をスピコートし, 側面からの歪伝播も促す。最終的には, 単一 QD 発光を測定し, 電場印加による発光エネルギーの変化を計測する。以前の試作では最大~1.7 meV (@ 30 K)の可逆的なエネルギー変化があったが, 今回はそれ以上の変化を期待している。

(a) (b)

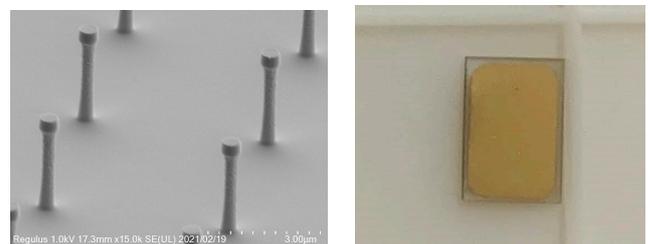


Fig. 1(a) GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs(111)A pillar array. (b) Au/Cr thin film electrodes deposited on the surface of piezoelectric PMN-PT.

4. その他・特記事項(Others)

- ・「価電子帯混合による (111) 単一量子ドットの発光の偏光状態と正孔 g 因子の変化」で応用物理学学会北海道支部第 24 回発表奨励賞を受賞
- ・JSPS KAKENHI 基盤研究(C)20K0381200
- ・北大電子研ナノテクノロジー連携推進室 小田島聡博士の技術指導に厚く感謝いたします。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 五十嵐 与樹 他, 第 56 回応用物理学学会北海道支部学術講演会 (2021 年 1 月 9 - 10 日, オンライン)

6. 関連特許(Patent)

なし