

課題番号 :F-13-OS-0014  
利用形態 :機器利用  
利用課題名 (日本語) :位置制御型単一量子ドット作製に関する研究  
Program Title (English) :Investigation on Site-controlled Single Quantum Dot Fabrication  
利用者名(日本語) :塚本史郎, 川端明洋, 立石学, 遠野竜翁, 東條孝志, 松下樹里, 高岸時夫  
Username (English) :S.Tsukamoto, A.Kawabata, M.Tateishi, T.Tono, T.Toujyou, J.Matsushita, T.Takagishi  
所属名(日本語) :阿南工業高等専門学校  
Affiliation (English) :Anan National College of Technology

## 1. 概要 (Summary)

化合物半導体 GaAs 内に埋め込まれた InAs 単一量子ドットは単一光子を利用した量子暗号通信の光源として注目されている。しかし一般的な作製法が自己組織化を利用したものであり、ナノレベルでの位置制御が困難である。本研究では特定位置に1つだけ高品位量子ドットを配置する技術および配置したドットの検出用マーカー形成手法の確立を目指す。

## 2. 実験 (Experimental)

大阪大学ナノテクノロジー設備供用拠点の機器 (RF スパッタ、マスクアライナー、AFM など) を使用して、分子線エピタキシー (MBE) 成長に耐えるマスク材料と形状の検討、そしてマスク作製段階における GaAs(001)基板表面へのダメージを極力低減したプロセス方法の確立を行った。実験の最終段階では、分子線エピタキシー(MBE)成長中にその場で走査型トンネル顕微鏡 (STM) 観察が可能な STMBE 装置 [1,2] による InAs 薄膜成長および最表面の原子構造の違いを利用した STM 操作による特定位置へのホール作製と InAs 量子ドット自己形成を行うことになる。そのため、作製するマスク材料と形状は MBE 成長時の温度と雰囲気能耐えられるだけでなく、Ga, In, As などの材料と反応しない且つ形状変化しない必要がある。また成長面には原子レベルでの平坦性が必要なため、マスク作製プロセスによる表面エッチングなどのダメージを最小限度に止める必要がある。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

まずマスク材料としては、高温で安定な W を選択した。Fig. 1(a)にフォトマスクの形状と拡大図、Fig. 1(b) に最終的に作製した W マスクの拡大図を示す。STMBE の広域スキャン範囲が 10 $\mu$ m 四方であるため、

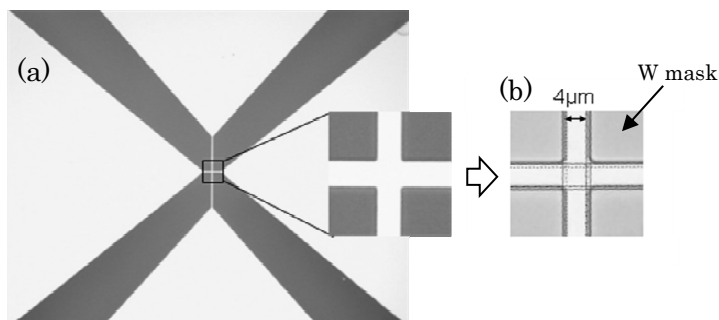


Fig.1 (a) Metal photomask and (b) W-mask pattern

開口部をそれ以下とする必要があり、現在、Fig. 1(b)に示すように、4 $\mu$ m 四方の開口部作製に成功している。また W 薄膜を 100 $\mu$ m RF スパッタ後の DMF (N,N-dimethylformamide) を用いたリフトオフ時に長時間 DMF 溶液に浸すと GaAs 基板表面が浸食され、数十 nm 程度の凹凸が形成されてしまうことがわかった。これは MBE 成長の妨げとなるため、最小時間で有効なリフトオフを探索し、DMF 45min で表面凹凸を 1nm 程度に押さえられることが分った。

## 4. その他・特記事項 (Others)

- (1) S.Tsukamoto and N.Koguchi, J.Cryst.Growth 201, 118 (1999).
- (2) S.Tsukamoto, T.Honma, G.Bell, A.Ishii, Y.Arakawa, Small 2, 386 (2006).

謝辞：大阪大学ナノテクノロジー設備供用拠点スタッフ皆様方の温かいご支援に一同深く感謝いたします。

## 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) S.Tsukamoto, 15th International Conference on Defects Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors, *invited talk*, 平成25年9月15日.
- (2) S.Tsukamoto, T.Konishi, T.Toujyou, M.Hirayama, T.Teraoka, 4th International Workshop on Epitaxial Growth and Fundamental Properties of Semiconductor Nanostructures, *invited talk*, 平成25年9月29日.

## 6. 関連特許 (Patent)

なし