

EB 描画法を用いた GaAs 周期メサ構造上への直接酸化膜パターンニングと ナノ構造制御

Direct EB patterning of functional oxide mask on periodical mesa-structures applied for well-ordered GaAs nano structures

関学大理工, ○一山 貴弘, 岡 昇吾, 芦田 晃嗣, 久津間 保徳, 金子 忠昭

Kwansei Gakuin Univ. ○T. Ichiyama, S. Oka, K. Ashida, Y. Kutsuma, and T. Kaneko

E-mail: kaneko@kwansei.ac.jp

【背景】半導体ナノテクノロジーの中核技術と位置づけられるリソグラフィーの中で、電子線リソグラフィー (EBL) は、微細線幅 ($<10\text{nm}$) の形成やプロセスごとにデザインルールを変更可能であるという特徴を有する。一般的に EBL は、スピコートを用いて単一基板表面上にレジスト塗布してから EB 照射を行うため、凹凸面に対して一様に塗布することは困難である[1]。そこで我々は、化合物半導体 GaAs 表面に存在する自然酸化膜 (約 3nm 厚) が、一般的な有機レジスト PMMA と同程度の高感度な無機レジスト ($0.2\text{mC}/\text{cm}^2@1\text{kV}$) として機能し、さらに EB 照射領域が 600°C 程度の熱エッチングに対して安定な Ga_2O_3 酸化膜マスクに直接改質できることを明らかにし、レジスト塗布を必要としないリソグラフィープロセスを提案してきた[2]。本報告では、自然酸化膜がもつ自発的形成機能およびレジスト機能の応用の観点から、凹凸構造上へ均一な酸化膜マスクパターンを直接形成する機能の検証を目的に、GaAs 単結晶基板表面に高密度ナノピラミッド構造 (NPA) の作製を行った。本手法の概略を Fig.1 に示す。NPA 形成のための【第1段階】: 周期的メサ構造作製のための EB ライン描画 (青線)、【第2段階】: メサ構造側面上への 90° 回転 EB ライン描画 (赤線) である。前者ではメサ構造頂上部に酸化膜マスクが、後者では描画方向に位置するメサ側面域にマスクが形成され、それぞれのプロセス後、熱エッチングを施した。なお、本手法では比較的大きな EB 径 150nm を用いて単一描画で広域領域の改質を行っている。

【実験/結果】第1段階: EB 描画条件は 4kV , $\Phi 150\text{nm}$, $0.5\text{mC}/\text{cm}^2$ 、熱エッチングは 650°C 、安定な $\{110\}$ ファセットに囲まれた V 字構造を作製する (Fig.1(d-e))。この過程で Ga_2O_3 酸化膜マスクは、GaAs の熱分解に伴い表面をマイグレーションする Ga と反応してマスク幅は徐々に減少する ($4\text{Ga} + \text{Ga}_2\text{O}_3 \rightarrow 3\text{Ga}_2\text{O} \uparrow$)。第2段階: EB 描画条件はドーズ量のみ $0.6\text{mC}/\text{cm}^2$ へと上昇させマスク耐性を向上させた。側面内の隣接した EB 描画ライン間の非照射領域から熱エッチングが誘起され、最終的に $\{110\}$ ファセットで囲まれた GaAs-NPA が作製可能となる (Fig.1(f-g))。Fig.1(c) は実際に作製した構造例である (pitch: 240nm)。本プロセスの特徴として、熱エッチング温度を上昇させることで、NPA を構成する個々のファセット形状がもつ不均一性を抑制する傾向を得られた。

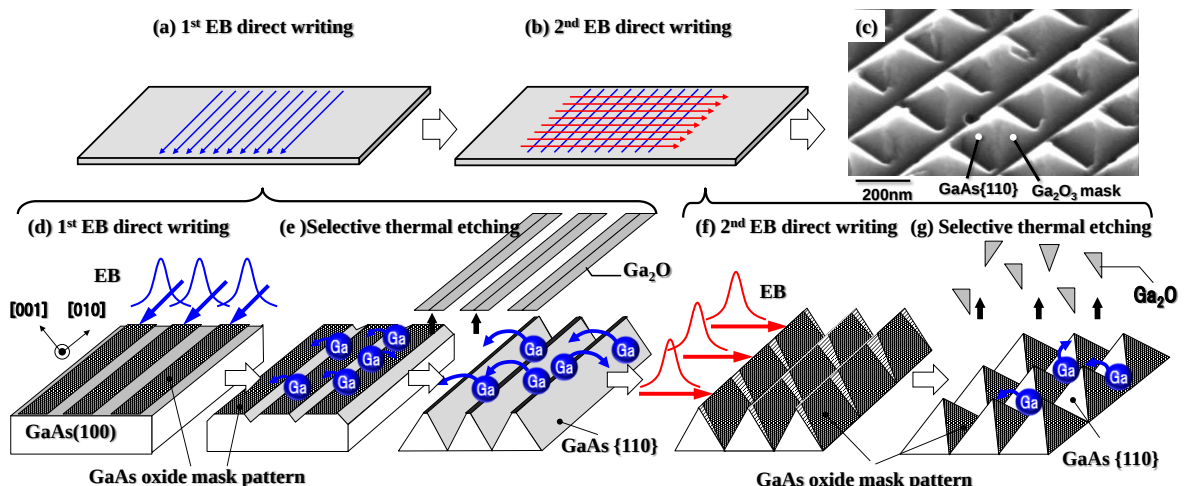


Fig.1. Schematic illustrations for fabricating GaAs nano pyramid array (NPA). (a, d, e) Prior to NPA fabrication, v-groove grating structures on GaAs (100) were fabricated via 1st EB direct writing using a line scan pitch of 240nm at 150nm beam diameter (4kV) and $0.5\text{mC}/\text{cm}^2$ dose. The thermal selective etching was conducted at 650°C for 4 hours under As_4 flux of $0.75\text{ML}/\text{sec}$. (b, f, g) For fabricating NPA, the v-groove structure was used as a template. The 2nd EB direct writing was employed on the 3nm -thick oxide of non-planar $\{110\}$ faceted planes. The 2nd EB scan direction was 90° off from the 1st direction using the same 150nm beam diameter (4kV) and $0.6\text{mC}/\text{cm}^2$ dose. The 2nd thermal selective etching was conducted at 650°C for 1.5 hours under As_4 flux of $0.75\text{ML}/\text{s}$. (c) A representative SEM image of the fabricated NPA (45° tilted). An opposite sides of the faceted $\{110\}$ planes are covered with Ga_2O_3 oxide mask while the others are pristine GaAs $\{110\}$ planes.

[1] K. Yamazaki, H. Yamaguchi, Applied Physics Express, 3 (2010) 106501.

[2] K. Matsuda, Y. Hirokawa, S. Ushio, and T. Kaneko, Physica Status Solidi C, 8 (2011) 310.