

課題番号 : F-19-NU-0014
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 高純度同位体シリコンエピ基板上の量子デバイス作製
Program Title (English) : Fabrication of quantum devices on high-purity silicon isotope epi-wafers
利用者名(日本語) : 宮本聡, 佐藤克哉, 宇佐美德隆
Username (English) : S. Miyamoto, K. Sato, N. Usami
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・膜堆積、膜加工・エッチング、分析、量子デバイス

1. 概要(Summary)

近年、同位体シリコン Si-28 の純度を 99.92%まで精製したエピ膜を有するシリコン基板上では、単一量子ビットに対する量子情報保持時間が桁違いに延伸されることが実証され、大規模量子計算を実現するための理想的なプラットフォームとして注目されている。我々が推進するこの同位体制御 Si-28 エピ基板の構造最適化及び高品質化のためには、デバイス特性評価による迅速なフィードバック開発が重要であり、ホールバー構造や微細ゲート構造の安定した作製技術の確立が不可欠である。本課題は、欠陥準位の少ない高品質なゲート絶縁膜を挟んで、広範囲で電界制御可能な量子デバイス構造の作製を目的とし、本年度は、名古屋大学・微細加工プラットフォームの装置群を用いた基本プロセス条件の最適化を重点的に実施した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置(Heidelberg Instruments 社製 DWL66FS)、フォトリソグラフィ装置(共和理研社製 K310P100S)、RIE エッチング装置(サムコ社製 RIE-10NR)、段差計(アルバック社製 Dektak150)、原子層堆積装置(サムコ社製 AD-100LE)

【実験方法】

(1) レーザー描画装置により 3 インチのフォトマスクを設計・試作し、フォトリソグラフィ装置を用いて東京応化工業社製レジスト(OFPR-800LB)を塗布したシリコン基板に各プロセス用のパターンを形成した。(2) 当研究室が所有する真空蒸着装置によりゲート電極を堆積し、成膜レートは段差計で堆積膜厚を測定することで決定した。ここでは、Ti は $\sim 0.5 \text{ \AA}/\text{sec}$ 、Au は $\sim 1.0 \text{ \AA}/\text{sec}$ として Ti (5 nm)/Au (50 nm)金属パッドの堆積を試みた。(3) RIEエッチング装置により、 SF_6/O_2 ガス雰囲気中でホールバー

型のメサ構造へと加工した。(4) ゲート絶縁膜として、原子層堆積装置(ALD)を用いて、 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 、300 サイクルで Al_2O_3 絶縁膜の堆積試験を実施した。但し、チャンバー内への不純物混入を避けるため、レジストを塗布していないシリコン基板上に堆積した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

各プロセス用に作製したフォトマスク、及びフォトリソグラフィにより形成したパターンに対し、最小構造幅 $\sim 20 \mu\text{m}$ まで設計通りに形成されていることを確認した。またゲート電極の堆積に際しては、リフトオフ時に Au 上部層の部分的な剥離が観察されたが、概ね制御した膜厚の Ti/Au 電極パターンの形成が可能となっている。RIE エッチングではマスクに用いたレジスト膜厚の変化は観察されず、OFPR-800LB がある程度のドライエッチング耐性を有することを確認した。また狙い通りのメサ構造加工は可能であることは確認出来たが、レジストの焼き付きが見られたため、新たに専用剥離剤の導入を進めている。ALD プロセスでは、当研究室が所有する分光エリプソメトリーを用いて、堆積した Al_2O_3 絶縁膜の厚さが所望の $\sim 30 \text{ nm}$ であることを確認した。今後、徐々に量子デバイスの作製に移行し、電気的特性評価を通じて一連のプロセスの最適化、更には Si-28 エピ構造作製の条件最適化へと繋げる。

4. その他・特記事項(Others)

・文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)「シリコン量子ビットによる量子計算機向け大規模集積回路の実現」
・本課題は、田岡 紀之 特任准教授(名古屋大学)、齋藤清範 技術職員(名古屋大学)に技術支援を頂きました。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。