

課題番号 : F-20-NU-0021
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、同位体純度を 99.92%まで精製したシリコン(Si)-28 エピ基板では、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。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する。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プロセス条件の最適化を実施した後、作製したゲート制御 Si デバイスに対してマイクロ波光伝導減衰測定を適用することで、電界印可下における励起キャリア緩和時間からデバイス内の電荷トラップを評価する手法を確立した。

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シリコン基板に各プロセス用のパターンを形成した。(2) ドライエッチング耐性の高い KMPR1035(ネガレジスト)を用い、 SF_6/O_2 ガス雰囲気中でホールバー形状に加工した。(3) 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 絶縁膜を $\sim 40\text{ nm}$ ほど堆積した。(4) 当研究室

が所有する真空蒸着装置により Pd ゲート電極を堆積し、水晶振動子でレート校正しながら膜厚を $\sim 5\text{ nm}$ にした。(5) Pd ゲート電極にワイヤーボンディングし、紫外光レーザー(波長 349 nm)をパルス照射の基、ゲート電極下部の励起キャリア寿命をマイクロ波光伝導減衰法で測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

通常 KMPR1035 は粘性が高く、塗布膜厚が厚いため、現像後のレジスト形状は鈍り易い。そこで、シクロペンタノンで希釈し、塗布膜厚を調整することで、分解能が向上することが分かった。このとき、高いドライエッチング耐性を確認するとともに、明瞭なメサパターンも形成可能である。 Al_2O_3 絶縁性能は、堆積前の基板洗浄条件に依存することが分かり、予め酸化膜を中間層として挿入することで絶縁耐圧を改善した。また、同じ厚さの Pd ゲート電極薄膜に対して光吸収測定を行ったところ、波長 349 nm で 67%の光透過率を有していることを確認した。このゲート制御 Si デバイスを、設計した PCB 基板にマウント・配線し、ゲート電圧印可下におけるマイクロ波光伝導減衰測定を実施した。光励起キャリア及びゲート誘起キャリアを同時制御することにより励起キャリア寿命を抽出し、ゲート絶縁膜界面及びバルクにおける電荷トラップ由来の緩和過程を分離検証することが可能となった。

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。