

課題番号 : F-21-NU-0047
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、電気計測、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、ホールバー構造や微細ゲート構造を安定して作製し、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、昨年度までに確立した作製条件を基にゲート制御 Si デバイスを試作し、電界印可下でも測定可能なように拡張したマイクロ波光伝導減衰測定法を用いて、光励起キャリア緩和ダイナミクスからデバイス界面・基板内部に由来する電荷トラップの分離検証を行った。

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)、マスクレス露光装置(ナノシステムソリューションズ社製 DL-1000)、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】

Si 基板上に原子層堆積装置(ALD)で厚さ~40 nm の Al₂O₃ 絶縁膜を形成し、真空蒸着装置で幅広パターンの Pd ゲート電極(厚さ~5 nm)を堆積したのち、PCB 基板にマウントして Al 配線を施した。波長 349 nm 又は 904 nm のレーザー光をパルス照射した状態で、ゲート電極下部に光励起されたキャリアの緩和ダイナミクスを評価した。ここで、各励起波長に対する光注入キャリア密度は、同じ膜

厚を有する Pd 電極薄膜の光透過特性から決定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

光励起キャリアの緩和ダイナミクスは、ゲート電極内外の領域で大きく異なることから、デバイスのゲート絶縁膜界面近くで電界誘起されるバンド変調に大きく依存し、2 つ以上の異なる緩和機構で説明できることが判った。特に、短波長励起(349 nm)の場合には、デバイス界面近くに高密度に光励起される余剰キャリアとの相互作用が支配的な緩和挙動が観測することが出来る。この励起波長において、光励起キャリア量及びゲート誘起キャリア量を同時制御することで、先の異なる緩和機構がデバイス界面近くに由来するものと、基板内部へのバルク拡散に由来するものに分離して同定することが可能となった。さらに、デバイス界面近くの緩和機構については、界面近くに電界誘起されたキャリアとの多体的なオージェ機構と、界面トラップに由来する SRH 機構が競合していることが判り、各機構がクロスオーバーする特異な領域が観察された。

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)

- (1) “Microwave Photoconductivity Decay under Gate-Bias Application to Detect Charge Traps in Si-MOS Devices”, K. Sato, S. Miyamoto, N. Usami, International Workshop on Dielectric thin films for future electron devices - science and technology (IWDTF2021), 2021 年 11 月 14 日-16 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。