

近赤外域透明導電性酸化膜ゲートによる表面照射型 InGaAs PhotoFETs

FSI InGaAs PhotoFETs utilizing SWIR transparent conductive oxide (TCO) gate

東理大¹, 産総研² ○(M2)大石和明^{1,2}, 鯉田崇², 清水鉄司², 石井裕之², 張文馨²,
石井寛仁^{1,2}, 遠藤聡¹, 藤代博記¹, 前田辰郎^{1,2}

Tokyo University of Science¹, AIST² ○Kazuaki Oishi^{1,2}, Takashi Koida², Tetsuji Shimizu², Hiroyuki Ishii², Wen-Hsin Chang², Hiroto Ishii^{1,2}, Akira Endoh¹, Hiroki Fujishiro¹, and Tatsuro Maeda^{1,2}

E-mail: k.oishi@aist.go.jp

【背景と目的】我々は、Si-LSI 回路と化合物半導体のヘテロ集積を目指し、表面照射型 InGaAs PhotoFET による近赤外線検出と、その分光感度特性などを評価してきた[1-5]。PhotoFET は、通常の MOSFET と同様の構造をしており、従来の半導体プロセスと整合性が良いことから、素子の微細化や LSI 回路との混載の点で有利である。しかしながら、近赤外域感光層はゲート電極の下部に配置されていることから、表面照射型では、近赤外光を吸収する一般的な金属電極による感度低下、感度領域損失が大きな課題となる。転写技術などを用いて、金属電極を感光層の下部に配置することも可能だが[1, 2]、表面側にも金属配線は必要であるため、近赤外域に透過する金属材料が望まれる。ITO など可視領域で透明な電極はよく知られているが、近年、近赤外領域でも透明かつ高い電気伝導率を有する透明導電性酸化膜(TCO)が積極的に開発されており[6]、太陽電池等の電極材料として、その用途が広がりつつある。我々は、この TCO を金属ゲートとして利用すれば、感度を低下させることなく表面照射型の PhotoFET が実現できるのではないかと考えた。TCO 層を介した近赤外線検出は、PhotoFET 構造のみならず、一般的なダイオード構造にも、その効果が期待できる。今回、TCO ゲートを用いた表面照射型 InGaAs PhotoFET の作製を試みた。その結果、高移動度 InGaAs nMOSFET 動作の確認と、TCO ゲート下の InGaAs チャンネルを感光層にすることで、高感度な近赤外線検出に成功したので報告する。

【結果と考察】図 1 に、今回作製した表面照射型の TCO ゲート InGaAs PhotoFET の構造図とプロセスフローを示す。InGaAs PhotoFET は、InP 基板上に感光層となる p 型 InGaAs 層(300 nm)、Al₂O₃ ゲート酸化膜、および TCO ゲートからなる MIS 構造、n⁺ InGaAs 層のソース/ドレインから構成される。近赤外線は TCO ゲートを透過するため、InGaAs チャンネル領域に表面照射することが可能で、チャンネル領域に発生したフォトキャリアをドレイン電圧によりドレイン電流として検出する。FET 構造作製には、ソース/ドレイン領域に不純物イオンを注入し、活性化した n⁺ InGaAs 層を形成した後に、TCO/Al₂O₃ ゲート積層を行うゲートラスト法を採用した。ゲートとなる TCO 薄膜はイオンプレーティング法にて堆積し、リフトオフすることでゲートパターンを形成し、最後に配線を施した。100 nm 厚の TCO 薄膜は、シート抵抗 18.7 Ω/□、金属とのコンタクト抵抗も 1 × 10⁻⁸ Ωcm² 以下と通常のゲート電極として機能するに十分な値であった。この TCO 薄膜をゲートに用いた InGaAs PhotoFET は、ゲート長 10 μm で on/off 比 4 桁以上、閾値と S 値は -0.46 V、133 mV/dec. で、移動度は最高で 535 cm²/Vs 程度と良好な nMOSFET 性能を示した。図 2 に、InGaAs PhotoFET のチャンネル領域(ゲート長/ゲート幅 10 μm/10 μm)へ、直径 10 μm、波長 1550, 1650, 1700 nm の近赤外光を照射した際の、ドレイン電流の時間変化(V_d=1 V, V_g=0 V)を示す。近赤外光照射前後で対応した on/off 特性を示しており、明瞭な赤外検出特性を確認した。感度は波長 1550 nm で 2.9 A/W、1700 nm で 0.93 A/W が得られた。TCO ゲートを採用することで、近赤外領域に感度を有する表面照射型 InGaAs PhotoFET が実現し、近赤外域 TCO 薄膜の有効性が示された。

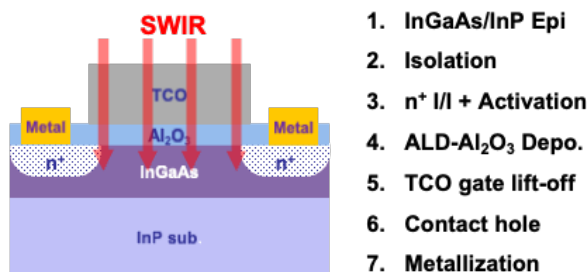


Fig. 1. FSI InGaAs PhotoFETs with TCO gate under SWIR illumination and their process flow.

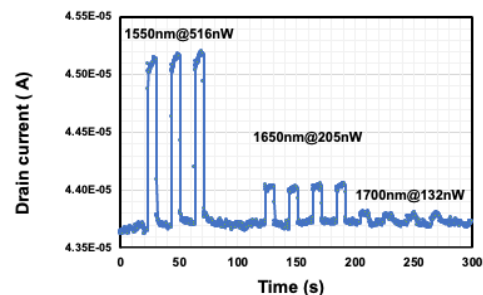


Fig. 2. Time-resolved photoresponse of FSI InGaAs PhotoFETs

【References】[1] 大石和明等, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 20a-E204-4 (2019). [2] T. Maeda et al., Jpn. J. Appl. Phys., 59 SGGE03 (2020). [3] 大石和明等, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会 14a-B410-2 (2020). [4] 大石和明等, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 9p-Z13-2 (2020). [5] K. Oishi et al., Phys. Status Solidi A, 218 2000439 (2021). [6] T. Koida, High-Mobility Transparent Conductive Oxide Layers, Chapter 19 in Spectroscopic Ellipsometry for Photovoltaics Volume 1: Fundamental Principles and Solar Cell Characterization, Springer Series in Optical Sciences 212, pp.565–586, (2018).